

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 4 月 7 日 (07.04.2005)

PCT

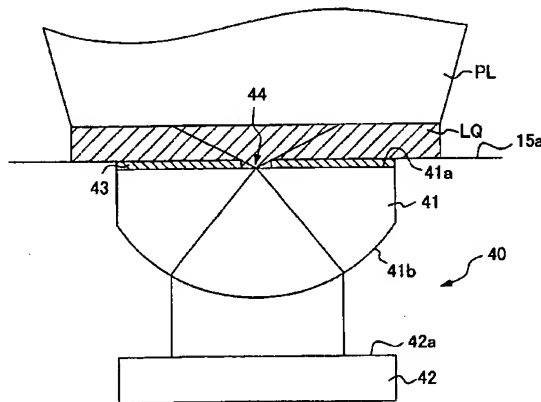
(10) 国際公開番号
WO 2005/031799 A2

- (51) 国際特許分類: H01L (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 西永 壽 (NISHI-NAGA, Hisashi) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 引間 郁雄 (HIKIMA, Ikuo) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 豊田 光紀 (TOYODA, Mitsunori) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 中川 正弘 (NAKAGAWA, Masahiro) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 萩原 恒幸 (HAGIWARA, Tsuneyuki) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 水野 恭志 (MIZUNO, Yasushi) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 北 尚憲 (KITA, Naonori) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 谷津 修 (TANITSU, Osamu) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). [続表有]
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/014693
- (22) 国際出願日: 2004 年 9 月 29 日 (29.09.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-338420 2003 年 9 月 29 日 (29.09.2003) JP
特願2003-344938 2003 年 10 月 2 日 (02.10.2003) JP
特願2004-042931 2004 年 2 月 19 日 (19.02.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

(54) Title: EXPOSURE APPARATUS, EXPOSURE METHOD, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 露光装置、露光方法及びデバイス製造方法

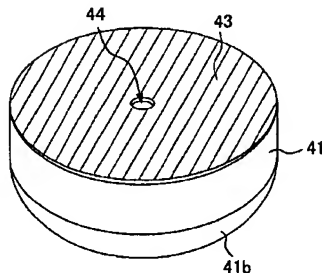
(a)



(57) Abstract: A part of exposure light entering a liquid (LQ) from a projection optical system (PL) enters a light-transmitting section(44), enters an optical member (41) without passing through gas, and is focused. The exposure apparatus receives the exposure light from the projection optical system to perform various measurements even if the numerical aperture of the projection optical system increases.

(57) 要約: 投影光学系 PL から液体 LQ に入射した露光光のうち、光透過部 44 に入射した露光光は、気体中を通過せずに光学部材 41 に入射して収束される。露光装置は、投影光学系の開口数が増大しても投影光学系からの露光光を受光して、各種の計測を行うことができる。

(b)





- 丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 江村 望 (EMURA, Nozomu) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 川北 喜十郎 (KAWAKITA, Kijuro); 〒1600022 東京都新宿区新宿五丁目1番15号 新宿MMビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書なし: 報告書を受け取り次第公開される。
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明細書

露光装置、露光方法及びデバイス製造方法

技術分野

本発明は、マスクに形成されたパターンを基板上に転写して基板を露光する露光装置及び露光方法、並びに当該露光装置を用いたデバイス製造方法に関する。

背景技術

半導体素子、液晶表示素子、撮像装置（ＣＣＤ（charge Coupled Device）等）、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスの製造工程の１つとして通常設けられるフォトリソグラフィ工程では、露光対象としての基板（フォトレジストが塗布された半導体ウェハ又はガラスプレート）にマスク又はレチクル（以下、これらを総称するときは、マスクという）に形成されたパターンの縮小像を投影露光する露光装置が用いられる。近年においては、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（所謂、ステッパ）又はステップ・アンド・スキャン方式の露光装置が多用されている。

上記のステッパは、基板を二次元的に移動自在な基板ステージ上に載置し、この基板ステージにより基板を歩進（ステッピング）させて、マスクのパターンの縮小像を基板上の各ショット領域に一括露光する動作を順次繰り返す露光装置である。また、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置は、スリット状のパルス露光光をマスクに照射している状態で、マスクを載置したマスクステージと基板を載置した基板ステージとを投影光学系に対して互いに同期移動させつつマスクに形成されたパターンの一部を基板のショット領域に逐次転写し、１つのショット領域に対するパターンの転写が終了すると基板をステッピングさせて他のショット領域にパターンの転写を行う露光装置である。

また、これらの露光装置は投影光学系を介して露光光を受光する複数の光センサ（受光部）を有しており、これらの光センサの出力に基づいて、各種の機械的調整や光学的調整を行ったり、各種の動作条件を決定して、実際に基板の露光を行うときの露光動作が最適化されている。例えば、投影光学系を通過した露光光の照度むら（光量分布）を計測したり、積算光量むらを計測するための照度むらセンサや、投影光学系を通過した露光光の照射量（光量）を計測する照射量センサが基板ステージ上に設けられている。このような照度むらセンサについては、例えば特開平０８－３１６１３３号公報に、また、照射量センサについては、例えば国際公開第０１／００８２０５号公報に、それぞれ開示されている。

また、近年、デバイスパターンのより一層の高集積化に対応するために投影光学系の更なる高解像度化が望まれている。投影光学系の解像度は、使用する露光波長が短いほど、また投影光学系の開口数が高いほど高くなる。そのため、露光装置で使用される露光波長は年々短波長化しており、投影光学系の開口数も増大している。そして、現在主流の露光波長はＫｒＦエキシマレーザの２４８ｎｍであるが、更に短波長のＡｒＦエキシマレーザの１９３ｎｍも実用化されつつある。また、露光を行う際には、解像度と同様に焦点深度（ＤＯＦ）も重要となる。解像度 R 、及び焦点深度 δ はそれぞれ以下の式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad \dots (1)$$

$$\delta = \pm k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad \dots (2)$$

ここで、 λ は露光波長、 NA は投影光学系の開口数、 k_1 、 k_2 はプロセス係数である。（１）式、（２）式より、解像度 R を高めるために、露光波長 λ を短くして、開口数 NA を大きくすると、焦点深度 δ が狭くなることが分かる。

焦点深度 δ が狭くなり過ぎると、投影光学系の像面に対して基板表面を合致させることが困難となり、露光動作時のフォーカスマージンが不足するおそれがある。そこで、実質的に露光波長を短くして、且つ焦点深度を広くする方法として、例えば国際公開第９９／４９５０４号公報に開示されている液浸法が提案されている。この液浸法は、投影光学系の下面と基板表面との間を水や有機溶媒等の液

体で満たして液浸領域を形成し、液体中での露光光の波長が空気中の $1/n$ （ n は液体の屈折率で通常 $1.2 \sim 1.6$ 程度）になることを利用して解像度を向上するとともに、焦点深度を約 n 倍に拡大するというものである。

ところで、上述の光センサ（受光部）は、投影光学系の像面側に配置される光透過部を有しており、その光透過部を介して光を受光しているため、液浸法の採用等によって投影光学系の開口数が増大し、露光光の入射角（最外の光線と光軸とがなす角度）が大きくなると、光透過部から射出される光の拡がりも大きくなり、良好に受光することができない虞がある。

発明の開示

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、投影光学系の開口数が増大しても、各種計測が精度良く実行可能であり、特に液浸式の露光法を採用した場合にも各種の計測を良好に行うことができる露光装置及び露光方法並びに当該露光装置を用いたデバイス製造方法を提供することを目的とする。

また、本発明は、投影光学系を介した光を良好に受光できる受光器を有する露光装置及び露光方法並びにデバイス製造方法を提供することを目的とする。

上記の課題を解決するため、本発明は実施の形態に示す図1～図45に対応付けた以下の構成を採用している。但し、各要素に付した括弧付き符号はその要素の例示に過ぎず、各要素を限定するものではない。

本発明の第1の態様に従えば、露光光を液体を介して基板（W、P）上に照射することによって前記基板を露光する露光装置（EX）であって：投影光学系（PL）と；前記投影光学系の像面側に設けられた光透過部（31、32、271）及び、前記投影光学系を通過した露光光を該光透過部を介して受光する受光器（36、37、276、290）を有する計測装置（27、270）を備え；

前記計測装置の受光器が、前記投影光学系と前記光透過部との間に液体が存在しない状態で、前記光透過部及び投影光学系を通過した露光光を受光する露光装置が提供される。前記計測装置は、照射むらセンサ、照射量センサまたは空間像計測装置にし得る。

この発明によると、投影光学系の像面側に液体が供給されていない状態で、投影光学系を通過した露光光が投影光学系の像面側に配置された光透過部を介して計測装置の受光器で受光される。

本発明の第2の態様に従えば、露光光を基板（W、P）上に照射することによって前記基板を露光する露光装置（EX）であって：投影光学系（PL）と；前記投影光学系の像面側に配置され、前記投影光学系からの露光光が入射する光透過部（31、44、56、271）、受光器（36、42、53、282）、及び該光透過部からの光を受光器に入射させるための集光部材（41、45、52、57、62、71、276）を有する計測装置（40、50、60、70、270）を備え；前記投影光学系からの露光光が気体中を通過せずに前記集光部材に入射するように、前記集光部材は、前記光透過部と前記受光器との間に配置されている露光装置が提供される。

この発明によると、投影光学系からの露光光のうち、光透過部を透過した光は気体中を通過せずに集光部材に入射して集光される。なお、光透過部から集光部材に気体を通過しないように光を導くには、種々の方法があるが、光透過部と集光部材を接合しても良く、あるいは、気体以外の媒質であって光透過性の媒質、例えば、液体、超臨界流体、ペースト、固体を光透過部と集光部材との間に、例えば薄膜状に介在させても良い。

本発明の第3の態様に従えば、液体（LQ）を介して露光光を基板（W、P）上に照射することによって前記基板を露光する露光装置（EX）であって：投影光学系（PL）と；前記投影光学系に対向するように一面が配置され且つ他面の

一部に光透過部（５６）が形成された板状部材（５１）及び、前記光透過部からの光を受光する受光器（５３）を有する計測装置（５０）とを備え；前記計測装置の受光器は、露光光を、前記投影光学系と前記板状部材との間にもたらされた液体を介して受光する露光装置が提供される。

この発明によると、投影光学系からの露光光は液体を介して板状部材に入射し、板状部材に入射した光のうち光透過部を通過した光が計測装置が備える受光器に受光される。それゆえ、液浸露光の状態で露光光を計測することができる。

本発明の第４の態様に従えば、露光光を液体（ＬＱ）を介して基板（Ｗ、Ｐ）上に照射することによって前記基板を露光する露光装置（ＥＸ）であって：投影光学系（ＰＬ）と；前記投影光学系の像面側に設けられ且つ前記投影光学系からの露光光が液体を介して入射する光透過部（３１、３２、４４、５６、２７１）、受光器（３６、３７、４２、５３、２９０）及び該光透過部からの光を該受光器に入射させるための光学系（４１、４５、５２、５７、６２、７１、８１、８６、１０１、１１１、２７６）を有する計測装置（４０、５０、６０、７０、８０、８５、９０、１００、１１０、２７０）とを備え；前記光透過部からの光が気体中を通過せずに前記光学系に入射するように、前記光学系は前記光透過部と前記受光器との間に配置されている露光装置が提供される。

この発明によると、投影光学系からの露光光のうち、光透過部を透過した光は計測装置に設けられた光学系に気体中を通過しないよう導かれて受光器に入射する。それゆえ、受光器は光透過部を透過した光を効率良く受光できる。光透過部から光学系に気体を通過しないように光を導くには、前述のように気体以外の媒質を介在させてもよい。なお、光学系は一つの光学部材であってもよいし、複数の光学部材から構成されていてもよい。

本発明の第５の態様に従えば、基板（Ｗ、Ｐ）に液体（ＬＱ）を介して露光光（ＥＬ）を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：投影光

学系（PL）と；前記投影光学系の像面側に配置された光透過部（271）を有する光学部材（275）と；当該光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光する受光器（276、290）を備え；前記受光器と前記光学部材との間に液体が満たされている露光装置（EX）が提供される。

液浸露光においては、投影光学系の像面側に配置された光学部材を介して投影光学系を通過した光を受光器で受光する際、投影光学系と光学部材との間を液体で満たした状態で受光器に光を照射して受光動作を行うことが考えられる。本発明によれば、その光学部材と受光器との間にも液体を満たすことで、投影光学系を通過した光を受光器で良好に受光することができる。つまり、投影光学系と光学部材との間の空間を液体で満たすことで、投影光学系の開口数NAを大きくできるが、この投影光学系の開口数NAに応じて、受光器の光学系の開口数NAも変化させる必要がある。すなわち、投影光学系の開口数NAに応じて、受光器の開口数NAも向上させないと、受光器は、投影光学系を通過した光を良好に取り込むことができない状況が発生し、良好に受光できなくなる。したがって、投影光学系と光学部材との間に液体を満たすことによって投影光学系の開口数NAを向上させた場合には、光学部材と受光器との間にも液体を満たして受光器の光学系の開口数NAを向上させることで、受光器は投影光学系を介した光を良好に受光することができる。ここで、光学部材とは、光透過部を有するものは全て含まれる。

本発明の第6の態様に従えば、基板（W、P）に露光光（EL）を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：投影光学系（PL）と；前記投影光学系の像面側に配置された光透過部（271）を有する光学部材（275）と；当該光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光する受光器（276、290）を備え；前記受光器と前記光学部材との間に液体（LQ）が満たされている露光装置（EX）が提供される。

本発明によれば、光学部材と受光器との間に液体を満たすことで、受光器の光学系の開口数 NA を向上することができ、受光動作を良好に行うことができる。本発明の光学部材と受光器との間に液体を満たす構成は、液浸露光装置に対する適用の他に、液体を介さないで露光するドライ露光装置に対する適用も可能である。

本発明の第7の態様に従えば、基板（W、P）に液体を介して露光光（EL）を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：投影光学系（PL）と；前記投影光学系（PL）の像面側に配置された光透過部（31、271）を有する光学部材（101、275）と；前記光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光し且つ光学部材（101、275）に接して設けられた受光素子（102、282）とを有する受光器を備える露光装置（EX）が提供される。

本発明によれば、受光器の受光素子を光学部材に接するように配置することで、投影光学系と光学部材との間に液体を満たして投影光学系の開口数 NA を実質的に向上させた場合においても、受光器は投影光学系を介した光を良好に受光することができる。

本発明の第8の態様に従えば、基板（W、P）に、液体とを介して露光光を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：投影光学系（PL）と；前記投影光学系の像面側に配置された光透過部（271）を有し且つ所定位置に貫通穴（320、330）が形成されている光学部材（275）と；前記光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光する受光器を備える露光装置（EX）が提供される。

本発明によれば、光学部材に貫通穴を設けたことにより、投影光学系と光学部材との間の液体は貫通穴を介して移動する（逃げる）ことができるので、投影光学系と光学部材との間の液体の圧力と、光学部材と受光器との間の液体の圧力と

の差が生じず、光学部材が撓む等の不都合は生じない。また、貫通穴を介して液体が移動可能であるので、投影光学系と光学部材との間の液体の大きな圧力変動も生じないため、液体の圧力変動によって投影光学系を変動（振動）させる不都合の発生を防止することができる。

本発明において、第1～8の態様の露光装置（EX）を用いることを特徴とするデバイス製造方法が提供される。本発明によれば、受光器は投影光学系を介した光を良好に受光できるので、その受光結果に基づいて最適な露光条件を設定した状態で精度良い露光処理を行うことができ、所望の性能を有するデバイスを製造することができる。

本発明の第9の態様に従えば、露光光を投影光学系（PL）と液体を介して基板（W、P）上に照射することによって前記基板を露光する露光方法であって：前記投影光学系の光射出端（PLE）の側に、露光光を計測する計測装置（27、270）を設置するステップと；前記投影光学系の光射出端側の光路空間に液体を介在させずに計測装置で露光光を計測するステップ（S14、S15）と；前記計測結果に基づいて、前記光路空間に液体を介在させて基板を露光するステップ（S19）を含み；前記投影光学系の光射出端と前記光路空間との界面に投影光学系内から入射する露光光の入射角が、前記計測ステップと前記露光ステップで異なる露光方法が提供される。この方法によると、計測ステップにおける前記投影光学系の光射出端と前記光路空間との界面に入射する露光光の入射角を、前記露光ステップにおける入射角より小さく調整することによって投影光学系と計測装置との間の光路空間に液体が存在していなくても計測装置は良好に露光光を受光することができ、その受光した光で結像状態や露光光の調整を実行することができる。

本発明の第10の態様に従えば、露光光を投影光学系（PL）を介して基板（W、P）上に照射することによって前記基板を露光する露光方法であって：前記投影光学系から射出された露光光を受光器で受光することと；露光光を投影光

光学系と液体とを介して基板上に照射することによって前記基板を露光することを含む露光方法が提供される。この方法によれば、露光光を気体中を通過せずに受光素子に送ることができるため、投影光学系の開口数が大きくなっても、投影光学系を通過した露光光を良好に受光することができる。

本発明の第11の態様に従えば、露光光を投影光学系（PL）を介して基板（W、P）上に照射することによって前記基板を露光する露光方法であって：前記投影光学系の像面側に配置された光透過部を有する光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光器（276、290）で受光することと；露光光を、投影光学系を介して基板上に照射することによって前記基板を露光することを含む；前記受光器と前記光学部材との間に液体（LQ）が満たされている露光方法が提供される。この方法では受光器と光学部材との間に液体が満たされているので、投影光学系の開口数が大きくなっても、光透過部からの露光光を良好に受光することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1実施形態による露光装置の概略構成を示す図である。

図2は、開口絞り板8の一例を示す正面図である。

図3（a）及び（b）は、露光光センサ27の構成の一例を示す図である。

図4は、本発明の第1実施形態による露光装置の露光処理開始時における動作例を示すフローチャートである。

図5（a）及び（b）は、本発明の第2実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図である。

図6（a）及び（b）は、本発明の第2実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの変形例を示す図である。

図7（a）及び（b）は、本発明の第3実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図である。

図 8 は、本発明の第 3 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサが備える平凸レンズの他の例を示す斜視図である。

図 9 は、本発明の第 4 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す断面図である。

図 10 は、本発明の第 5 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す断面図である。

図 11 (a) 及び (b) は、本発明の第 6 実施形態による露光装置に設けられる照射量センサの概略構成を示す図である。

図 12 は、マイクロレンズアレイに対する開口が形成された集光板の構成例を示す斜視図である。

図 13 は、本発明の第 7 実施形態による露光装置に設けられる照射量センサの概略構成を示す図である。

図 14 は、本発明の第 8 実施形態による露光装置に設けられる照射量センサの概略構成を示す図である。

図 15 (a) 及び (b) は、本発明の第 9 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図である。

図 16 は、本発明の第 10 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図である。

図 17 は、第 2 実施形態による露光装置が備える照度むらセンサ 40 の変形例を示す図である。

図 18 は、マイクロデバイスの製造工程の一例を示すフローチャートである。

図 19 は、半導体デバイスの場合における、図 11 のステップ S 23 の詳細なフローの一例を示す図である。

図 20 は、本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

図 21 は、投影光学系の先端部近傍、液体供給機構、及び液体回収機構を示す概略構成図である。

図 22 は、投影光学系の投影領域と液体供給機構及び液体回収機構との位置関係を示す平面図である。

図 23 は、本発明に係る受光器の一実施形態を示す概略構成図である。

図 2 4 は、受光器が計測動作を行っている状態を示す模式図である。

図 2 5 は、本発明に係る光学部材及び受光器の一実施形態を示す要部拡大図である。

図 2 6 は、図 2 5 の光学部材の平面図である。

図 2 7 (a) 及び (b) は、光学部材の光透過部の一例を示す図である。

図 2 8 は、受光器で受光した受光信号の一例を示す図である。

図 2 9 は、投影光学系の結像特性を計測するときに使うマスクの一例を示す図である。

図 3 0 は、投影光学系の結像特性を計測するときに使うマスクの一例を示す図である。

図 3 1 は、投影光学系の結像特性を計測するときに使うマスクの一例を示す図である。

図 3 2 は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図 3 3 は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図 3 4 は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図 3 5 は、図 3 4 の光学部材の平面図である。

図 3 6 (a) ~ (c) は、液浸領域を形成する手順の一例を示す図である。

図 3 7 は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図 3 8 は、図 3 7 の光学部材の平面図である。

図 3 9 は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図 4 0 は、図 3 9 の光学部材の平面図である。

図 4 1 は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図4 2は、基板ステージ上に複数の受光器が配置されている状態を示す平面図である。

図4 3は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図4 4は、本発明に係る光学部材及び受光器の別の実施形態を示す要部拡大図である。

図4 5は、投影光学系の先端と接する媒質の屈折率との関係で、投影光学系の先端で露光光の一部の光線に全反射が生じない条件を説明する図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施形態による露光装置及びデバイス製造方法について詳細に説明するが、本発明はこれに限定されない。

〔第1実施形態〕

図1は、本発明の第1実施形態による露光装置の概略構成を示す図である。尚、図1に示す露光装置EXは、投影光学系PLとウェハWとの間の液体（純水）LQを介して露光を行う液浸式の露光装置であって、半導体素子の回路パターンDPが形成されたレチクルRを用い、ステップ・アンド・リピート方式により、上記回路パターンDPの像をウェハWに転写する露光装置である。

尚、以下の説明においては、図中に示したXYZ直交座標系を設定し、このXYZ直交座標系を参照しつつ各部材の位置関係について説明する。XYZ直交座標系は、X軸及びY軸がウェハWに対して平行となるよう設定され、Z軸がウェハWに対して直交する方向に設定されている。図中のXYZ座標系は、実際にはXY平面が水平面に平行な面に設定され、Z軸が鉛直上方向に設定される。

図1に示す露光装置EXは、露光光を供給するための光源1として、193nm（ArF）の波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源を備えている。光

源 1 から射出されたほぼ平行光束は、ビーム整形光学系 2 を介して所定断面の光束に整形された後、干渉性低減部 3 に入射する。干渉性低減部 3 は、被照射面であるレチクル R 上（ひいてはウェハ W 上）での干渉パターンの発生を低減する機能を有する。

干渉性低減部 3 の詳細については、例えば特開昭 59-226317 号公報に開示されている。干渉性低減部 3 からの光束は、第 1 フライアイレンズ（第 1 オプティカルインテグレータ）4 を介して、その後側焦点面に多数の光源を形成する。これらの多数の光源からの光は振動ミラー 5 で偏向された後、リレー光学系 6 を介して第 2 フライアイレンズ（第 2 オプティカルインテグレータ）7 を重畳的に照明し、これにより第 2 フライアイレンズ 7 の後側焦点面には多数の光源からなる二次光源が形成される。

第 2 フライアイレンズ 7 の射出面 C J、即ち照明光学系（照明系）I S の瞳面（投影光学系 P L の瞳面と光学的に共役な面）には開口絞り板 8 が、駆動モータ 8 f によって回転自在に配置されている。図 2 は、開口絞り板 8 の一例を示す正面図である。図 2 に示す通り、開口絞り板 8 は回転軸 O の周りで回転自在に構成された円板からなり、通常照明用の円形の開口絞り 8 a、輪帯照明用の開口絞り 8 b、4 極変形照明（4 極照明）用の開口絞り 8 c、小さいコヒーレンスファクタ（小 σ ）用の小円形の開口絞り 8 d、及び露光光の照度むら又は光量等を計測する時に用いられる可変の開口絞り 8 e が周方向に沿って形成されている。尚、図 2 中に示した破線の大きな円は通常照明用の円形の開口絞り 8 a の大きさを表しており、開口絞り 8 b ~ 8 e との大きさの比較のため図示している。

また、コヒーレンスファクタ（照明系の σ ）は、投影光学系 P L のレチクル R 側の開口数 N A r と照明系光学系 I S の開口数 N A i との比で、以下のように定義される。

$$\sigma = N A i / N A r$$

また、投影光学系 P L の開口数 N A は、通常ウェハ W 側の開口数 N A w を示し、レチクル側の開口数 N A r は、投影光学系 P L の倍率 M より、 $N A r = N A w / M$ として求められる。

上記開口絞り 8 e は、開口の大きさが可変に形成されており、例えば 0.05 ～ 0.50 の範囲で σ 値を可変することができる。この開口絞り 8 e は、投影光学系 P L の像面側の液体 L Q なしで、照度むらや光量の計測を行う際に、投影光学系 P L の像面側に向かう露光光の開き角（最外の光線と光軸とがなす角度）を調整（小さく）するためのものである。つまり、本実施形態の露光装置は、投影光学系 P L とウェハ W との間の液体 L Q を介して露光処理を行う液浸式の露光装置であるため、投影光学系 P L の像面側に液体 L Q がないと、例えば通常照明に用いる開き角の大きな露光光は、投影光学系 P L の像面側の先端部分で一部の光が全反射して投影光学系 P L を通過することができない。上記開口絞り 8 e は、投影光学系 P L の像面側に向かう露光光の開き角を調整して、投影光学系 P L で全反射を防止するために設けられる。尚、図 2 においては、本発明の特徴を明確化するため、開口絞り 8 d とは別途に開口絞り 8 e を開口絞り板 8 に設けた構成を図示しているが、開口絞り 8 d のコヒーレンスファクタも 0.25 ～ 0.35 程度に設定されるので、計測の際に開口絞り 8 d を使うようにして、開口絞り 8 e を省略した構成であっても良い。その場合、開口絞り 8 d の開口を可変にしても良い。

図 1 に戻り、開口絞り板 8 の回転軸 O は駆動モータ 8 f の回転軸に接続されており、駆動モータ 8 f を駆動して開口絞り板 8 を回転軸 O の周りで回転させることにより、第 2 フライアイレンズ 7 の射出面 C J に配置する開口絞りを切り替えることができる。第 2 フライアイレンズ 7 の射出面 C J に配置される開口絞りに応じて、第 2 フライアイレンズ 7 の射出面 C J における露光光の強度分布（光束分布）が変更される。駆動モータ 8 f の駆動は露光装置 E X の全体の動作を統括制御する主制御系 20 が制御する。

第2フライアイレンズ7によって形成された二次光源からの光束のうちの開口絞り板8に形成された開口絞り8a～8dの何れか1つを通過した露光光は、コンデンサ光学系10及び折り曲げミラー11を介して、下側面に所定の回路パターンDPが形成されたレチクルRを重疊的に均一照明する。これにより、レチクルRの照明領域内のパターンの像が両側テレセントリックな投影光学系PLを介して所定の投影倍率 β (β は例えば1/4又は1/5等)で、投影光学系PLの像面に配置された基板としてのウェハWの露光領域(投影領域)に投影される。ウェハWは例えば半導体(シリコン等)又はSOI(silicon on insulator)等の円板状の基板である。尚、以上説明したビーム整形光学系2～折り曲げミラー11は、照明光学系(照明系)ISを構成している。

投影光学系PLは、レンズ等の複数の光学素子からなる。本実施形態では、露光光として真空紫外域のArFエキシマレーザ光源の光を用いているため、投影光学系PLを構成する光学素子の硝材としては、例えば合成石英又は蛍石(フッ化カルシウム: CaF_2)が用いられる。投影光学系PLが備える光学素子の一部は、投影光学系PLの光軸AX方向(Z方向)に移動可能且つX軸に平行な軸又はY軸に平行な軸の周りでチルト可能に構成されており、これらの光学素子は後述するレンズコントローラ部14によって制御される。この投影光学系PLは像面側に液体LQが供給されている状態で、入射光束が像面側に結像する液浸式の投影光学系であり、開口数(N.A.)は1以上(例えば、1.00～1.40)に設定されている。尚、本実施形態の投影光学系PLは、ジオプトリック系(屈折系)であるが、カタジオプトリック系(反射屈折系)や反射系も使用できることはいうまでもない。

レチクルRは、レチクルホルダ(不図示)を介して、レチクルステージ13に載置されている。尚、レチクルステージ13は、主制御系20からの指令に基づき、レチクルステージ制御部(不図示)によって駆動される。このとき、レチクルステージ13の移動は、レチクル干渉計(不図示)とレチクルステージ13に

設けられた移動鏡（不図示）とにより計測され、その計測結果は主制御系 20 に出力される。

投影光学系 PL には、温度や気圧を計測するとともに、温度、気圧等の環境変化に応じて投影光学系 PL の結像特性等の光学特性を一定に制御するレンズコントローラ部 14 が設けられている。このレンズコントローラ部 14 は計測した温度や気圧を主制御系 20 へ出力し、主制御系 20 はレンズコントローラ部 14 から出力された温度及び気圧並びに後述する露光光センサ 27 の計測結果に基づいて、レンズコントローラ部 14 を介して投影光学系 PL の結像光学系等の光学特性を制御する。

ウェハ W は、ウェハステージ 15 内に内蔵されたウェハホルダ 16 に真空チャックされている。尚、ウェハ W はウェハホルダ 16 上に保持されたときに、その上面がウェハステージ 15 の上面と一致するように、ウェハホルダ 16 の高さ位置が設定されている。ウェハステージ 15 は、図中 X 軸方向及び Y 軸方向にそれぞれ移動可能な一对の X ステージ及び Y ステージを重ね合わせたものであり、X Y 平面内での位置が調整自在になっている。

また、図示は省略しているが、ウェハステージ 15 は、Z 軸方向にウェハ W を移動させる Z ステージ、ウェハ W を X Y 平面内で微小回転させるステージ、及び Z 軸に対する角度を変化させて X Y 平面に対するウェハ W の傾きを調整するステージ等から構成される。このように、ウェハステージ 15 は、X 軸方向の移動機能、Y 軸方向の移動機能、Z 軸方向の移動機能、Z 軸周りの回転機能、X 軸周りのチルト機能、及び Y 軸周りのチルト機能を有する。

ウェハステージ 15 の上面の一端には移動鏡 17 が取り付けられており、移動鏡 17 の鏡面に対向した位置にレーザ干渉計 18 が配置されている。尚、図 1 では図示を簡略化しているが、移動鏡 17 は X 軸に垂直な反射面を有する移動鏡及び Y 軸に垂直な反射面を有する移動鏡より構成されている。また、レーザ干渉計

18は、X軸に沿って移動鏡17にレーザビームを照射する2個のX軸用のレーザ干渉計及びY軸に沿って移動鏡17にレーザビームを照射するY軸用のレーザ干渉計より構成され、X軸用の1個のレーザ干渉計及びY軸用の1個のレーザ干渉計により、ウェハステージ15のX座標及びY座標が計測される。

また、X軸用の2個のレーザ干渉計の計測値の差により、ウェハステージ15のXY平面内における回転角が計測される。レーザ干渉計18により計測されたX座標、Y座標、及び回転角の情報はステージ位置情報として主制御系20に供給される。主制御系20は供給されたステージ位置情報をモニターしつつ、制御信号をステージ駆動系19へ出力し、ウェハステージ15の位置決め動作をナノメートルオーダーで制御する。なお、移動鏡17の替わりに、ウェハステージ15の側面に反射面を設けてもよい。このようにすることで、ウェハステージ15の上面をほぼ全面に渡ってほぼ面一とすることができる。

また、図1に示す露光装置EXは、投影光学系PLの像面側に液体LQを供給するとともに、供給した液体LQを回収するために、液体供給装置21と液体回収装置22とを備える。液体供給装置21は、液体LQを収容するタンク、加圧ポンプ等を備えて構成される。この液体供給装置21には供給管23の一端部が接続されており、供給管23の他端部には供給ノズル24が接続されている。これら供給管23及び供給ノズル24を介して液体LQが供給される。尚、本実施形態においては、露光光としてArFレーザ光を用いているので、液体LQとしては純水を用いている。なお、液体供給装置21のタンク、加圧ポンプなどは、必ずしも露光装置EXが備えている必要はなく、それらの少なくとも一部を露光装置EXが設置される工場などの設備で代用することもできる。

液体回収装置22は、吸引ポンプ、回収した液体LQを収容するタンク等を備える。液体回収装置22には回収管25の一端部が接続され、回収管25の他端部には回収ノズル26が接続されている。投影光学系PLの像面側に供給された液体LQは、回収ノズル26及び回収管25を介して液体回収装置22に回収さ

れる。これら液体供給装置 21 及び液体回収装置 22 は、主制御系 20 により制御される。なお、液体回収装置 22 の吸引ポンプ及びタンクなどは、必ずしも露光装置 EX が備えている必要はなく、それらの少なくとも一部を露光装置 EX が設置される工場などの設備で代用することもできる。

つまり、投影光学系 PL の像面側の空間に液体 LQ を供給する際に、主制御系 20 は液体供給装置 21 及び液体回収装置 22 のそれぞれに対して制御信号を出力して、単位時間当たりの液体 LQ の供給量及び回収量を制御する。かかる制御により、液体 LQ は投影光学系 PL の像面側に必要十分な量だけ供給される。尚、図 1 に示す例では、液体 LQ をウェハステージ 15 の上方に設けられた回収ノズル 26、回収管 25、吸引ポンプ等を用いて回収しているが、これに限定されるものではない。例えば、ウェハステージ 15 の上面の周囲に液体 LQ の回収部（排出口）を設けてもよいし、これと上記液体回収装置 22 とを併用しても良い。

また、前述したウェハステージ 15 上には、投影光学系 PL を介してウェハステージ 15 上に照射される露光光の照度むら（光量むら）又は積算光量むら、及び光量（照射量）を計測する露光光センサ 27 が設けられている。図 3 は、露光光センサ 27 の構成の一例を示す図であって、（a）は斜視図であり、（b）は（a）中の A-A 線断面矢視図である。図 3（a）に示す通り、露光光センサ 27 は略直方体形状のシャーシ 30 を備える。シャーシ 30 は熱伝導率の高い金属、例えばアルミによって形成される筐体であって、その上面 33 には光透過部としてのピンホール 31 及び開口 32 が形成されている。

シャーシ 30 の上面 33 に形成されたピンホール 31 は、投影光学系 PL を介して照射される露光光 IL の照度むら又は積算光量むらを計測するために設けられ、その径は十数～数十 μm 程度である。また、シャーシ 30 の上面 33 に形成された開口 32 は、露光領域（投影光学系 PL の投影領域）と同程度の大きさに設定されている。この開口 32 には、例えば Cr（クロム）が一面に蒸着され、入射光を減光する ND フィルタ 34 が設けられている。また、図 3（b）に示す

ように、シャーシ 30 内部に照度むらセンサ 36 及び照射量センサ 37 が設けられている。照度むらセンサ 36 及び照射量センサ 37 は、何れも PIN フォトダイオード等の受光素子を備えており、これらの受光面に入射する露光光の光量が検出される。また、図 3 (a) において、35 は照度むらセンサ 36 及び照射量センサ 37 (図 3 (b) 参照) に設けられた受光素子の検出信号を露光光センサ 27 の外部に取り出す配線である。

照度むらセンサ 36 は、受光面の面積がピンホール 31 を介した露光光を受光できる程度に設定され、照射量センサ 37 は、受光面の面積が開口 32 に設けられた ND フィルタ 34 を透過した露光光を受光できる程度に設定されている。照度むらセンサ 36 及び照射量センサ 37 の各々に設けられる受光素子は、その受光面に ArF レーザ光に対する AR コートが施されており、各々は支持部材を介して電気基板 38 に取り付けられる。

電気基板 38 には配線 35 が接続されており、この配線 35 を介して照度むらセンサ 36 及び照射量センサ 37 が備える受光素子の検出信号を外部に取り出すよう構成されている。尚、照度むらセンサ 36 及び照射量センサ 37 の各々に設けられる受光素子としては、例えば光起電力効果、ショットキー効果、光電磁効果、光導電効果、光電子放出効果、焦電効果等を利用した光変換素子の何れであっても良い。尚、露光光センサ 27 は、その内部に受光素子を設けた構成ではなく、内部には露光光を受光する受光系のみを設け、光ファイバやミラー等を用いて受光系で受光した光をシャーシ 30 外に導いて光電子増倍管等の光電検出装置を用いて光電変換する構成であっても良い。

露光光センサ 27 に設けられたピンホール 31 を露光領域内に配置し、露光光を露光領域に照射すると、照射された露光光の内のピンホール 31 を通過した露光光のみが照度むらセンサ 36 に設けられた受光素子で検出される。露光領域に露光光が照射されている状態で、ピンホール 31 を移動させつつ露光光を検出すると、露光領域内における露光光の照度むらや積算光量むらを計測することがで

きる。また、露光光センサ 27 に設けられた開口 32 を露光領域に配置した状態で露光領域に露光光を照射すると、ND フィルタ 34 で減光された露光光が照射量センサ 37 が備える受光素子で検出される。ND フィルタ 34 の減光率は、既知であるため、この減光率と照射量センサ 37 が備える受光素子の検出結果とに基づいて、露光領域に照射される露光光の光量を計測することができる。

以上説明した露光光センサ 27 の検出信号は主制御系 20 に供給されている。尚、照度むら及び光量の測定は、例えば定期的（ロット単位のウェハ W を処理する度、レチクル R を交換する度）に実行される。主制御系 20 は、露光光センサ 27 の照度むらセンサ 36 を使って計測された照度むらや積算光量むらに基づいて、そのむらが小さくなるように光源 1 から射出される露光光の強度を変更したり、投影光学系 PL の像面側に照射される露光光の照度分布を制御する。また、主制御系 20 は、露光光センサ 27 の光量センサ 37 を使って計測された露光光の光量に基づいて、露光光の入射に起因する投影光学系 PL の光学特性の変動を補償するための制御パラメータを求め、ウェハ W の露光時には、この制御パラメータを用い、レンズコントローラ部 14 を介して投影光学系 PL の光学特性を制御する。尚、投影光学系 PL の像面側に照射される露光光の照度分布の調整は、例えば特開平 10-189427 号公報（対応米国特許 5,867,319）、特開 2002-100561 号公報（対応米国特許 6,771,350）、特開 2000-315648 号公報（対応米国特許 6,013,401、及び対応米国特許 6,292,255）に開示されているような手法を適用することができる。なお、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、これら特許公報の開示を援用して本文の記載の一部とする。

以上、本発明の第 1 実施形態による露光装置 EX の構成について説明したが、次に上記構成における露光装置 EX の動作について説明する。図 4 は、本発明の第 1 実施形態による露光装置の露光処理開始時における動作例を示すフローチャートである。図 4 に示すフローチャートは、例えば 1 ロット分のウェハ W を露光処理する際に実行される。開始時点においては、レチクル R がレチクルステージ

13上に保持されておらず、またウェハWがウェハホルダ16上に保持されておらず、更に投影光学系PLの像面側に液体LQが供給されていない。

この状態において、まず主制御系20は、駆動モータ8fを駆動して開口絞り板8に形成された開口絞り8a~8eのうちの、極小 σ 値を有する極小円形の開口絞り8eを第2フライアイレンズ7の射出面CJに配置する（ステップS11）。開口絞り8eの配置が完了すると、主制御系20は、レーザ干渉計18の計測結果をモニターしつつステージ駆動系19に対して制御信号を出力し、露光光センサ27のシャーシ30に形成された開口32（NDフィルタ34）が露光領域に配置されるようウェハステージ15を移動させる。

ウェハステージ15の移動によって露光光センサ27の配置が完了すると、主制御系20は光源1に対して制御信号を出力して光源1を発光させる。光源1の発光により光源1から射出されたほぼ平行光束は、ビーム整形光学系2を介して所定断面の光束に整形され、干渉性低減部3、第1フライアイレンズ4、振動ミラー5、及びリレー光学系6を順に介して第2フライアイレンズ7に入射し、これにより第2フライアイレンズ7の射出面CJに多数の二次光源が形成される。

これらの二次光源からの光束のうち、第2フライアイレンズ7の射出面CJに配置された開口絞り8eを通過した露光光は、コンデンサ光学系10を通過し、折り曲げミラー11で偏向される。ここではレチクルステージ13にレチクルRは保持されていないため、折り曲げミラー11で偏向された露光光は、レチクルRを介さずに投影光学系PLに直接入射する。

ここで、投影光学系PLは高解像度を実現するために開口数NAが大きく設計されており、投影光学系PLの像面側に液体LQが供給されている状態では、投影光学系PLの像面側に向かう露光光の開き角が大きくても、像面側にパターン像が結像できる。しかしながら、ここでは投影光学系PLの像面側に液体LQが供給されていないため、仮に第2フライアイレンズ7の射出面CJに比較的 σ 値

の大きな開口絞り 8 a が配置されていると、最外の光線を含む露光光の一部は投影光学系 P L の先端部分で全反射して投影光学系 P L を通過することができない。

この様子を図 4 5 を参照して説明する。図 4 5 において、投影光学系 P L の先端に設けられた光学素子 L S とステージ表面 1 5 a との間に液体 L Q が供給されている。投影光学系 P L の通過して光学素子 L S の光出射側端部 P L E から光が液体側に射出するための条件は、光学素子 L S とステージ表面 1 5 a の間の空間に存在する媒質と光学素子 L S との界面、すなわち、光学素子 L S の光出射側端部 P L E で露光光（最外の光線）E L が全反射しないことである。全反射条件は、露光光 E L の光出射側端部 P L E への入射角を θ_i 、光学素子 L S の光出射側端部 P L E の屈折率を n_p 、液体 L Q（媒質）の屈折率を n_L とすると、それらの間で $n_p \cdot \sin \theta_i = n_L$ を満たすことである。従って、 $n_p \cdot \sin \theta_i < n_L$ を満たす入射角 θ_i であれば、露光光 E L は光出射側端部 P L E から液体側に屈折して出射角 θ_o で射出する。ところが、投影光学系 P L とステージ表面 1 5 a の間の空間に液体 L Q が存在しない場合には、その空間に屈折率 n_g の気体が存在する。よって、全反射が起こらない条件は $n_p \cdot \sin \theta_i < n_g$ であるが、気体の屈折率 n_g は通常液体の屈折率 n_L よりも小さいから、この条件を満たす θ_i は液体が存在する場合よりも小さくなる。この結果、同じ入射角 θ_i でも、液体 L Q が存在しない場合には、図 4 5 中に破線で示したように全反射が生じることがある（全反射臨界角の場合を示した）。それゆえ、液体を前記空間に介在させずに露光光を計測するために、液浸露光の場合の入射角よりも小さくする調整しなければならない場合がある。

本実施形態では、ステップ S 1 1 において、極小 σ 値（例えば、0.25）を有する開口絞り 8 e を第 2 フライアイレンズ 7 の射出面 C J に配置することで、投影光学系 P L の像面側に向かう露光光の開き角を調整している（開き角を小さくしている）ため、投影光学系 P L に入射した露光光は投影光学系 P を通過することができる。投影光学系 P L を通過した露光光は、露光領域に配置された N D フィルタ 3 4（図 3）に入射し、所定量だけ減光されて照射量センサ 3 7 に設け

られた受光素子で検出される。この検出信号は主制御系 20 に出力され、ND フィルタ 34 の減光率を用いて露光領域に照射される露光光の光量が算出される。これよりレチクルステージ 13 にレチクル R が保持されていない状態で露光領域に照射される露光光の光量が計測される（ステップ S 12）。

次に、主制御系 20 は光源 1 の発光を停止させた後で、不図示のレチクルロード系に制御信号を出力して不図示のレチクルライブラリから所定のレチクル R を搬出させ、このレチクル R をレチクルステージ 13 上に保持させる（ステップ S 13）。レチクルステージ 13 上にレチクル R が保持されると、主制御系 20 は光源 1 を再度発光させて、レチクル R を介した露光光の光量を照射量センサ 37 を用いて計測する（ステップ S 14）。これによって、レチクル R がレチクルステージ 13 上に保持されている場合に露光領域に照射される露光光の光量と、保持されていない場合に露光領域に照射される露光光の光量との差を求めることができ、その差に基づいて、レチクル R の透過率（投影光学系 PL への入射光量）を求めることができる。

次に、主制御系 20 は、不図示のレチクルロード系に制御信号を出力してレチクルステージ 13 から搬出して待機させるとともに、レーザ干渉計 18 の計測結果をモニターしつつステージ駆動系 19 に対して制御信号を出力し、露光光センサ 27 のシャース 30 に形成されたピンホール 31 が露光領域内の所定位置に配置されるようウェハステージ 15 を移動させる。ウェハステージ 15 の移動によって露光光センサ 27 の配置が完了すると、主制御系 20 は光源 1 に対して制御信号を出力して光源 1 を発光させ、ウェハステージ 15 を移動させながら照度むらセンサ 36 を用いて露光領域に照射される露光光の照度むらを計測する（ステップ S 15）。

以上の処理が終了すると、主制御系 20 は、ステップ S 14、S 15 の計測結果に基づいて、光源 1 に制御信号を出力して露光光の強度や強度分布を変更し、又はレンズコントローラ部 14 を介して投影光学系 PL の光学性能を調整するた

めのパラメータを変更する（ステップS16）。次に、主制御系20は、不図示のレチクルロードに制御信号を出力してレチクルステージ13上にレチクルRを保持させるとともに駆動モータ8fを駆動して第2フライアイレンズ7の射出面CJに配置する開口絞り8eを、ウェハWを露光するための開口絞り8a～8dの何れかに変更する。例えば、輪帯照明を行う場合には、開口絞り8bを第2フライアイレンズ7の射出面CJに配置する（ステップS17）。

次に、主制御系20は、不図示のウェハロード系に制御信号を出力して、ウェハWを露光装置EXの不図示のチャンバ内に搬送させてウェハホルダ16上に保持させる。ウェハWがウェハホルダ16上に保持されると、主制御系20は液体供給装置21及び液体回収装置22に対して制御信号を出力する。これによって、投影光学系PLの像面側の空間に液体LQが供給され（ステップS18）、レチクルRに形成されたパターンを投影光学系PL及び液体LQを介してウェハW上に転写する露光処理が行われる（ステップS19）。この露光処理は、1ロット分のウェハW全てに対して行われる。以上説明した図4に示す処理は、新たなロットに対する露光処理を行う度に行われる。また、1ロット分のウェハWの露光中は、ステップS16で求めた制御パラメータを使って投影光学系PLへの露光光の照射量に応じた投影光学系PLの光学性能の調整が行われる。

尚、図4に示すフローチャートにおいては、説明の便宜のため、液体LQなしに極小 σ 値を有する開口絞り8eが第2フライアイレンズ7の射出面CJに配置された状態で、照射量センサ37を用いた光量の計測（ステップS14）と、照度むらセンサ36を用いた照度むらの計測（ステップS15）とを連続して行う場合を例に挙げて説明したが、どちらか一方の計測を、投影光学系PLの像面側の液体LQを介して行うようにしてもよい。特に、実際の露光条件と異なる条件（極小 σ 値0.25の条件）では、正確な照度むらを計測できない場合もあるので、照度むらセンサ36に液浸対応を施して、例えばピンホール31に対して防水処理を施して、投影光学系PLの像面側に液体LQが供給されている状態（つ

まり、ステップS 1 8とステップS 1 9との間)でステップS 1 5の計測を行うようにしても良い。

また、上述の実施形態においては、照射量センサ3 7を用いた光量計測を行った後に、照度むらセンサ3 6による照度むら計測を行っているが、レチクルRの搬出、搬入の工程がスループットを低下させることになるので、照度むらセンサ3 6による照度むら計測を行った後に、照射量センサ3 7による光量計測を行う方が好ましい。また、照度むらセンサ3 6を用いた照度むら計測の際に、露光光の光路上からレチクルRを退避させていたが、パターンが形成されていないレチクル(計測用の素ガラス)を配置しても良い。

また、上記実施形態では、第2フライアイレンズ7の射出面C Jに配置する開口絞りを変えることによって、コヒーレンスファクタ(照明系の σ)を変更し、投影光学系P Lの像面側に向かう露光光の開き角を調整していたが、露光光の開き角の調整は、これに制限されず種々の方法を用いることができる。例えば、第2フライアイレンズ7の前段(光源1側)にズーム光学系を配置し、第2フライアイレンズ7に入射する光束の分布を変更して、第2フライアイレンズ7の射出面C Jにおける露光光の光束分布を変更することで調整しても良い。また、上述の実施形態においては、コヒーレンスファクタ(照明系の σ)値を0. 2 5に設定したが、これに限るものでなく、液体L Qの屈折率及び投影光学系P Lの開口数を考慮して、投影光学系P Lの像面側に液体L Qが無い状態でも投影光学系P Lの先端面で露光光の一部に全反射が起きないように設定してやればよい。

また、上述の実施形態においては、投影光学系P Lの像面側に液体L Qが無い状態で照度むらセンサ3 6による計測や照射量センサ3 7による計測を行うようにしているが、露光光の開き角を調整したとしても、投影光学系P Lの像面側に液体L Qがある状態と液体L Qがない状態とでは、投影光学系P Lの下面での反射率が異なる場合がある。その場合には、例えば所定の反射率を有する反射板を投影光学系P Lの像面側に配置した状態で露光光を照射し、例えば特開2 0 0 1-1 4 4 0 0 4号公報(対応米国特許6, 7 3 0, 9 2 5)に開示されているよ

うな反射量モニタを使って、液体LQがある状態と液体LQがない状態とで投影光学系PLから戻ってくる光量をそれぞれ計測する。そして、その差を補正情報として保持しておき、照度むらセンサ36や照射量センサ37の液体LQ無しでの計測結果をその補正情報を用いて補正するようにすればよい。なお、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、上記特開2001-144004号公報（対応米国特許6,730,925）の開示を援用して本文の記載の一部とする。

また、第1実施形態においては、照度むらセンサ36や照射量センサ37を液体LQなしで計測する場合について説明したが、後述する空間像計測装置や波面収差計測装置などの各種計測装置に液体LQなしでの計測を適用することもできる。この場合、投影光学系PLの像面側の空間に液体LQに相当する光学（ガラス）部材を配置しても良い。このような光学部材を配置することによって、液体LQなしでも、投影光学系PLの像面側の空間を液体LQで満たしている場合に近い条件で計測を行なうことができる。なお、波面収差計測装置は、例えば米国特許6,650,399や米国特許公開2004/0090606に開示されており、これらの開示を援用して本文の記載の一部とする。

以上のように、第1実施形態においては、液浸法の採用によって投影光学系の開口数が増大しても、投影光学系PLに入射した露光光を各種センサの光透過部を介して良好に受光できる。また、液体LQを介さずに露光光を受光しているので、液体LQの状態（温度変化、ゆらぎ、透過率変化など）の影響を受けずに、各種センサの計測を行なうことができる。

〔第2実施形態〕

次に、本発明の第2実施形態による露光装置について説明する。本実施形態の露光装置の全体構成は図1に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ27の構成が相違する。尚、第1実施形態においては、露光光センサ27は、投影光学系PLの像面側に液体LQなしに計測動作（露光光の受光）を行ったが、

以下の説明においては、露光光センサ 27 は投影光学系 PL の像面側の液体 LQ を介して計測動作を行う。また、図 3 に示す通り、第 1 実施形態で説明した露光光センサ 27 は照度むらセンサ 36 と照射量センサ 37 とを備えている。以下では説明の簡単のため、主として露光光センサ 27 に設けられる照度むらセンサに本発明を適用した場合を例に挙げて説明するが、もちろん、後述する照射量センサや空間像計測装置にも適用することができる。

図 5 は、本発明の第 2 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図であって、(a) は断面図であり、(b) は照度むらセンサに設けられる平凸レンズの斜視図である。図 5 (a) に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照度むらセンサ 40 は、平凸レンズ 41 と受光素子 42 とを含んで構成される。

図 5 (a) , (b) に示す通り、平凸レンズ 41 は平坦部 41 a と所定の曲率を有する曲面部 41 b が形成された光学レンズである。本実施形態は、第 1 実施形態と同様に露光光として真空紫外域の ArF エキシマレーザ光源の光が用いられるため、平凸レンズ 41 の硝材としては、例えば合成石英又は蛍石が用いられる。平凸レンズ 41 の平坦部 41 a には、中央部を除いた全面に Cr (クロム) 等の金属を蒸着して遮光部 43 が形成されている。平坦部 41 a の中央部には Cr (クロム) 等の金属が蒸着されておらず、これにより十数～数十 μm 程度の径を有する光透過部 44 が形成されている。

かかる構成の平凸レンズ 41 は、遮光部 43 が形成された平坦部 41 a を投影光学系 PL に向けて、且つ上面 (遮光部 43 の上面) がウェハステージ 15 の上面 15 a と一致するようにウェハステージ 15 に取り付けられる。また、受光素子 42 は受光面 42 a を平凸レンズ 41 の曲面部 41 b に向け、且つ受光面 42 a のほぼ中心が平凸レンズ 41 の光軸上に配置されるようウェハステージ 15 に取り付けられる。この受光素子 42 は受光面 42 a に ArF レーザ光に対する AR コートが施されている。

尚、ここでは、説明の便宜上、平凸レンズ41及び受光素子42がウェハステージ15に取り付けられているとしているが、これらを図3に示すシャーシ30と同様のシャーシ内に取り付け、シャーシをウェハステージ15上に設けることが好適である。かかる構成の場合には、平凸レンズ41の上面（遮光部43の上面）がシャーシの上面と一致するように平凸レンズ41がシャーシに取り付けられ、且つシャーシの上面がウェハステージ15の上面15aと一致するようにシャーシがウェハステージ15に取り付けられる。

平凸レンズ41がウェハステージ15に取り付けられる場合、及び図3に示すシャーシ30と同様のシャーシに取り付けられる何れの場合であっても、ウェハステージ15上の液体LQが照度むらセンサ40内に浸入しないように、シール材等によって防水（防液）対策が施されている。従って、図5（a）に示す通り、投影光学系PLの下方（－Z方向）に照度むらセンサ40が配置されているときに、投影光学系PLとウェハステージ15との間に液体LQが供給されても、液体LQが照度むらセンサ40内に浸入することはない。

このため、本実施形態の照度むらセンサ40を用いた露光光の照度むら又は積算光量むらの計測は、照明光学系ISの照明条件をウェハWに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系PLとウェハステージ15の上面15a（平凸レンズ41）との間に液体LQを供給した状態で行うことができる。液体LQが投影光学系PLとウェハステージ15の上面15aとの間に供給されている状態においては、投影光学系PLに入射した露光光は、投影光学系PLの先端部において全反射されずに投影光学系PLを通過して液体LQに入射する。

図5（a）に示す通り、液体LQに入射した露光光のうち遮光部43に入射した露光光は遮光され、ピンホール状の光透過部44に入射した露光光のみが平坦部41aから平凸レンズ41内に入射する。ここで、平凸レンズ41の屈折率は、

液体L Qの屈折率と同程度又は液体L Qの屈折率よりも高いため、光透過部4 4に入射する露光光の入射角が大きくても光透過部4 4に入射した露光光は、光透過部4 4内に露出している平凸レンズ4 1の平坦部4 1 aで全反射することなく、平凸レンズ4 1内に入射する。また、平凸レンズ4 1に入射した露光光は、平凸レンズ4 1に形成された曲面部4 1 bによって集光された後で受光面4 2 aに入射して受光素子4 2で受光される。

このように、本実施形態においては、平凸レンズ4 1の平坦部4 1 aに遮光部4 3及び光透過部4 4を形成して、光透過部4 4を通過した露光光を気体中を通過させずに直接屈折率の高い平凸レンズ4 1に入射させている。このため、大きな入射角を有する露光光が光透過部4 4に入射しても、全反射されることなく平凸レンズ4 1内に取り込むことができる。また、平凸レンズ4 1に入射した露光光を曲面部4 1 bで集光して受光素子4 2の受光面4 2 aに導いているため、光透過部4 4に入射した露光光が大きな入射角を有していても受光素子4 2で受光することができる。

尚、図5に示す照度むらセンサ4 0は、平凸レンズ4 1の平坦部4 1 a上に中心部を除いてCr（クロム）等の金属を蒸着して遮光部4 3及び光透過部4 4を形成している。このため、図5（a）に示す通り、光透過部4 4が凹部として形成されてしまう。投影光学系PLに供給される液体L Qは液体供給装置2 1及び液体回収装置2 2によって常時循環させる場合には、光透過部4 4の存在によって液体L Qの流れが乱される可能性が考えられる。また、平凸レンズ4 1上に液体L Qの供給を開始したときに、光透過部4 4に気泡が残ってしまう虞もある。以下に説明する図6に示した照度むらセンサは、この点で本実施形態を改善している。

図6は、本発明の第2実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの変形例を示す図であって、（a）は断面図であり、（b）は照度むらセンサに設けられる平凸レンズの斜視図である。図6に示す照度むらセンサ4 0は、図5に

示す照度むらセンサ４０に設けられる平凸レンズ４１に代えて平凸レンズ４５を備える点が相違する。図６に示す通り、平凸レンズ４５は、平凸レンズ４１に形成された平坦部４１ａ及び曲面部４１ｂと同様に平坦部４５ａ及び曲面部４５ｂが形成されている。しかしながら、平坦部４５ａが全面に亘って平坦ではなく、上部が平坦な凸部４６が平坦部４５ａの中央付近に形成されている点異なる。

平坦部４５ａ上には、凸部４６を除いてＣｒ（クロム）等の金属を蒸着して遮光部４３が形成されており、平坦部４５ａの中央部に形成された凸部４６の高さは遮光部４３の厚みとほぼ同じに設定されている。つまり、図６に示す照度センサ４０においては、ピンホール状の光透過部４４として凸部４６が形成されている。このため、図６に示す通り、投影光学系ＰＬの下方（－Ｚ方向）に照度むらセンサ４０が配置された状態で、投影光学系ＰＬとウェハステージ１５（平凸レンズ４５）との間に液体ＬＱが供給されても、光透過部４４内に液体ＬＱが流入することはなく、液体ＬＱの流れが乱されることはない。また、光透過部４４に気泡が残ることもない。よって、図６に示す構成の照度むらセンサ４０を用いることで、より確度の高い計測を行うことができる。

なお、第２の実施形態においては、凸部４６は、平凸レンズ４５と一体的に形成されているが、別々に形成してもよい。また、凸部４６と平凸レンズ４５とを異なる物質で形成するようにしてもよい。この場合、凸部４６を形成する物質は、露光光を透過できる物質であって、平凸レンズ４５の材料の屈折率と同程度、もしくは液体ＬＱの屈折率よりも高く、かつ平凸レンズ４５の材料の屈折率よりも低いものを用いることができる。

〔第３実施形態〕

次に、本発明の第３実施形態による露光装置について説明する。上述した第２実施形態と同様に、本実施形態の露光装置の全体構成は図１に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ２７の構成が相違する。尚、本実施形態に

においても主として露光光センサ 27 に設けられる照度むらセンサについて説明する。

図 7 は、本発明の第 3 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図であって、(a) は断面図であり、(b) は照度むらセンサに設けられる開口板及び平凸レンズの斜視図である。図 7 (a) に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照度むらセンサ 50 は、上板 51、平凸レンズ 52、及び受光素子 53 を含んで構成される。

図 7 (a), (b) に示す通り、上板 51 は、真空紫外域の ArF エキシマレーザ光源の光に対して高い透過率を有する合成石英又は蛍石からなる平行平板 54 を備えている。この平行平板 54 の一方の面には、中央部を除いた全面に Cr (クロム) 等の金属を蒸着して遮光部 55 が形成されており、Cr (クロム) 等の金属が蒸着されていない中央部が円形の光透過部 56 となっている。また、平凸レンズ 52 は図 5 に示す平凸レンズ 41 と同様に、平坦部 52a と所定の曲率を有する曲面部 52b が形成された合成石英又は蛍石からなる光学レンズである。

上板 51 は、遮光部 55 が形成された面を下側にしてウェハステージ 15 の上面 15a に当接させて取り付けられている。また、平凸レンズ 52 は、平坦部 52a を投影光学系 PL に向けて上板 51 の遮光部 55 に当接させて（密接させて）取り付けられている。また、受光素子 53 は図 5 に示す受光素子 42 と同様のものであり、受光面 53a を平凸レンズ 52 の曲面部 52b に向け、且つ受光面 53a のほぼ中心が平凸レンズ 52 の光軸上に配置されるようウェハステージ 15 に取り付けられる。

尚、第 2 実施形態と同様に、上板 51、平凸レンズ 52、及び受光素子 53 を図 3 に示すシャーシ 30 と同様のシャーシ内に取り付け、シャーシをウェハステージ 15 に設けるようにしても良い。かかる構成の場合には、シャーシ上に遮光部 55 を当接させて上板 51 が取り付けられ、シャーシの上面がウェハステージ

15の上面15aと一致するようにシャーシがウェハステージ15に取り付けられる。上板51は、ウェハステージ15の上面又はシャーシの上面との間において、シール材等によって防水対策が施されている。

かかる構成の照度むらセンサ50において、上板51は液体LQが照度むらセンサ50内に浸入するのを防止する役目を果たす。本実施形態の照度むらセンサ50を用いても、照明光学系ISの照明条件をウェハWに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系PLとウェハステージ15の上面15aとの間に液体LQを供給した状態で照明むら等の計測を行うことができる。

投影光学系PLとウェハステージ15の上面15aとの間に液体LQが供給されている状態において、投影光学系PLに入射した露光光は、投影光学系PLの先端部において全反射されずに投影光学系PLを通過して液体LQに入射する。上板51に設けられる平行平板54の屈折率は液体LQの屈折率と同程度又は液体LQの屈折率よりも高いため、液体LQを介した露光光は上板51に入射し、上板51に形成された光透過部56からの光が平凸レンズ52に入射する。平凸レンズ52に入射した露光光は、平凸レンズ52に形成された曲面部52bによって集光されて受光面53aに導かれ、受光素子53で受光される。

尚、本実施形態においては、平凸レンズ52の平坦部52aを上板51の遮光部55が形成された面に当接させているため、気体中を通過せずに平凸レンズ52で光透過部56からの光を受光素子53に導くことができる。また、図7において、平行平板54の一方の面に形成された遮光部（膜）の厚みのために、光透過部56において平行平板54の下面と平凸レンズ52の上面との間に空間が形成されてしまう場合には、その光透過部56の空間に気体以外の媒質であって光透過性の媒質、例えば、液体、超臨界流体、ペースト、固体を光透過部と集光部材との間に、例えば薄膜状に介在させても良い。あるいは露光光を透過する接着剤を、平行平板54と平凸レンズ52との接合に使用して、その接着剤を光透過

部 5 6 の空間に介在させることもできる。この場合、光透過部 5 6 に介在する物質の露光光に対する屈折率は、平凸レンズ 5 2 及び平行平板 5 4 の屈折率と同程度であることが望ましい。更に、平凸レンズ 5 2 に代えて図 8 に示す平凸レンズ 5 7 を設けても良い。図 8 は、本発明の第 3 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサが備える平凸レンズの他の例を示す斜視図である。図 8 に示す平凸レンズ 5 7 は、図 7 に示す平凸レンズ 5 2 と同様に平坦部 5 7 a 及び曲面部 5 7 b が形成されているが、平坦部 5 7 a が全面に亘って平坦ではなく、上部が平坦な凸部 5 8 が平坦部 5 7 a の中央付近に形成されている点が異なる。

この凸部 5 8 の高さは、上板 5 1 に形成された遮光部 5 5 の厚みとほぼ同じに設定され、その径は上板 5 1 に形成された光透過部 5 6 の径とほぼ同じに設定される。かかる構成の平凸レンズ 5 7 の平坦部 5 7 a を上板 5 1 の遮光部 5 5 が形成された面に当接させると、凸部 5 8 が上板 5 1 に形成された光透過部 5 6 に嵌合する。これによって、上板 5 1 の平行平板 5 4 に入射した露光光のうちの光透過部 5 6 に入射する露光光は、凸部 5 8 の上面から平凸レンズ 5 7 に入射するように光透過部 5 6 を通過する。尚、図 8 において、凸部 5 8 は、平凸レンズ 5 7 と一体的に形成されているが、別々に形成してもよい。また、凸部 5 8 と平凸レンズ 5 7 とを異なる物質で形成するようにしてもよい。この場合、凸部 5 8 を形成する物質は、露光光を透過できる物質であって、平行平板 5 4 の材料及び平凸レンズ 5 7 の材料の屈折率と同程度の屈折率を有することが望ましい。

また、本実施形態においては、平行平板 5 4 の底面側に遮光部 5 5 を形成して平凸レンズ 5 2 (5 7) を当接させる構成であるが、平凸レンズ 5 2 (5 7) の平坦部 5 2 a (5 7 a) に遮光部 5 5 を形成して平行平板 5 4 を当接させても良い。

〔第 4 実施形態〕

次に、本発明の第 4 実施形態による露光装置について説明する。上述した第 2, 第 3 実施形態と同様に、本実施形態の露光装置の全体構成は図 1 に示す露光装置

とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ 27 の構成が相違する。尚、本実施形態においても主として露光光センサ 27 に設けられる照度むらセンサについて説明する。図 9 は、本発明の第 4 実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す断面図である。図 9 に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照度むらセンサ 60 は、平行平板 61、平凸レンズ 62、及び受光素子 63 を含んで構成される。

平行平板 61 は、真空紫外域の ArF エキシマレーザ光源の光に対して高い透過率を有する合成石英又は蛍石からなり、図 3 に示すシャーシ 30 に形成されたピンホール 31 を覆うようにシャーシ 30 の上面 33 に取り付けられている。この平行平板 61 は、投影光学系 PL の像面側に供給される液体 LQ がピンホール 31 を介して照度むらセンサ 60 内に浸入しないよう、シャーシ 30 の上面 33 との間においてシール材等によって防水対策が施されている。

平凸レンズ 62 は、その径がピンホール 31 の径と同程度又は僅かに小さく設定された合成石英又は蛍石からなる光学レンズである。この平凸レンズ 62 は、平坦部が平行平板 61 に張り合わされてピンホール 31 の内部に配置される。また、受光素子 63 は図 5 に示す受光素子 42 と同様のものであり、受光面 63a を平凸レンズ 62 の曲面部に向け、且つ受光面 63a のほぼ中心が平凸レンズ 62 の光軸上に配置されるようシャーシ 30 内部に取り付けられる。尚、受光素子 42 の受光面 63a の面積は入射する露光光の光束の幅に応じて適宜変更しても良い。

本実施形態の照度むらセンサ 60 においても、照明光学系 IS の照明条件をウェハ W に対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系 PL とシャーシ 30 の上面 33 との間に液体 LQ を供給した状態で照明むら等の計測を行うことができる。投影光学系 PL とシャーシ 30 の上面 33 との間に液体 LQ が供給されている状態において、投影光学系 PL に入射した露光光は、投

影光学系 P L の先端部において全反射されずに投影光学系 P L を通過して液体 L Q に入射する。

平行平板 6 1 及び平凸レンズ 6 2 の屈折率は液体 L Q の屈折率と同程度又は液体 L Q の屈折率よりも高いため、液体 L Q を介して平行平板 6 1 に入射した露光光のうちピンホール 3 1 に向かう露光光は、平凸レンズ 6 2 に入射して集光され、受光面 6 3 a に導かれて受光素子 6 3 で受光される。このように、本実施形態においても、投影光学系 P L から液体 L Q に入射した露光光が平凸レンズ 6 2 から射出されるまでは気体中を通過しない。このため、大きな入射角を有する露光光がピンホール 3 1 に入射しても、全反射されることなく平凸レンズ 6 2 内に取り込むことができ、更には受光素子 6 3 で受光することができる。尚、平凸レンズ 6 2 の周囲からの液体 L Q の浸入が防止できる場合には、平行平板 6 1 はなくても良い。

また、図 9 に示す例では、平凸レンズ 6 2 をピンホール 3 1 内に配置し、シャーシ 3 0 上に取り付けられた平行平板 6 1 に貼り付けるようにしていた。しかしながら、平凸レンズ 6 2 の径はピンホール 3 1 と同程度の十数～数十 μm 程度であるため、平凸レンズ 6 2 の取り扱いが困難なことがある。かかる場合には、平行平板 6 1 上に平凸レンズ 6 2 と同様の凸レンズを一体的に形成し、この凸レンズがピンホール 3 1 内に配置されるよう平行平板 6 1 をシャーシ 3 0 上に取り付けるのが好適である。尚、シャーシ 3 0 の上板の厚さが極めて薄い場合には、シャーシ 3 0 の下面に大きな平凸レンズを配置しても良い。この場合も、図 7 (a) と同様に、ピンホール 3 1 からの光を受光素子に集めることができる。

〔第 5 実施形態〕

次に、本発明の第 5 実施形態による露光装置について説明する。上述した第 2 ～第 4 実施形態と同様に、本実施形態の露光装置の全体構成は図 1 に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ 2 7 の構成が相違する。尚、本実施形態においても主として露光光センサ 2 7 に設けられる照度むらセンサについて

説明する。図10は、本発明の第5実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す断面図である。図10に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照度むらセンサ70は、平凸レンズ71及び受光素子72を含んで構成される。

平凸レンズ71は、真空紫外域のArFエキシマレーザ光源の光に対して高い透過率を有する合成石英又は蛍石からなり、その径は図3に示すシャーシ30に形成されたピンホール31の径よりも大に設定されている。この平凸レンズ71はピンホール31の形成位置において平坦部71aがシャーシ30の内側に張り合わされている。これにより、ピンホール31が平凸レンズ71によってふさがれた状態になり、ピンホール31を介した液体LQの照度むらセンサ70内への浸入を防止することができる。尚、平凸レンズ71をシャーシ30の内側に張り合わせるときに、シール材等によって防水対策することが好ましい。

また、受光素子72は図5に示す受光素子42と同様のものであり、受光面72aを平凸レンズ72の曲面部71bに向け、且つ受光面72aのほぼ中心が平凸レンズ71の光軸上に配置されるようシャーシ30内部に取り付けられる。本実施形態の照度むらセンサ70においても、照明光学系ISの照明条件をウェハWに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系PLとシャーシ30の上面33との間に液体LQを供給した状態で照明むら等の計測を行うことができる。

投影光学系PLとシャーシ30の上面33との間に液体LQが供給されている状態において、投影光学系PLに入射した露光光は、投影光学系PLの先端部において全反射されずに投影光学系PLを通過して液体LQに入射する。平凸レンズ71の屈折率は液体LQの屈折率と同程度又は液体LQの屈折率よりも高いため、液体LQに入射した露光光のうち、ピンホール31に入射した露光光は、平凸レンズ71に入射して集光され、受光面72aに導かれて受光素子72で受光される。

このように、本実施形態においては、投影光学系 P L から液体 L Q に入射した露光光のうち、ピンホール 3 1 を通過した露光光は気体中を通過せずに直接屈折率の高い平凸レンズ 7 1 に入射する。このため、大きな入射角を有する露光光がピンホール 3 1 に入射しても、全反射されることなく平凸レンズ 7 1 内に取り込むことができ、更には受光素子 7 2 で受光することができる。

尚、本実施形態では、第 2 実施形態と同様に、ピンホール 3 1 の存在によって液体 L Q の流れが乱され、更には渦流の発生により液体 L Q が沸騰して液体 L Q 内に気泡が生ずる可能性が考えられる。これらを防止するために、平凸レンズ 7 1 として図 8 に示す平凸レンズ 5 7 を用い、平坦部 5 7 a に形成された凸部 5 8 がピンホール 3 1 に嵌合するよう平凸レンズ 5 7 をシャーシ 3 0 の内側に貼り付けることができる。あるいはピンホール 3 1 に、露光光を透過する物質を介在させてもよい。

以上説明した第 2 ～ 第 5 実施形態においては平凸レンズ 4 1, 4 5, 5 2, 5 7, 6 2, 7 1 と受光素子 4 2, 5 3, 6 3, 7 2 とを離間させて配置した場合を例に挙げて説明したが、酸素等による露光光の吸収を極力避けるために、平凸レンズ 4 1, 4 5, 5 2, 5 7, 6 2, 7 1 と受光素子 4 2, 5 3, 6 3, 7 2 とを接触させても良い。また、上記実施形態では、集光部材として平凸レンズ 4 1, 4 5, 5 2, 5 7, 6 2, 7 1 を例に挙げて説明したが、これ以外に D O E (回折光学素子)、小レンズアレイ、フレネルレンズ、反射ミラー等を用いることができる。

〔第 6 実施形態〕

次に、本発明の第 6 実施形態による露光装置について説明する。本実施形態の露光装置も全体構成は図 1 に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ 2 7 の構成が相違する。尚、本実施形態の露光装置が備える露光光センサ 2 7 は、上述した第 2 ～ 第 5 実施形態と同様に、投影光学系 P L の像面側の液体 L

Qを介して計測動作を行うものである。但し、本実施形態においては、主として露光光センサ27に設けられる照射量センサを例に挙げて説明するが、もちろん、前述の照度むらセンサや後述する空間像計測装置にも適用することができる。

図1.1は、本発明の第6実施形態による露光装置に設けられる照射量センサの概略構成を示す図である。図1.1(a)に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照射量センサ80は、集光板81及び受光素子82を含んで構成される。集光板81は、真空紫外域のArFエキシマレーザ光源の光に対して高い透過率を有する合成石英又は蛍石からなり、図1.1(a)，(b)に示す通り、その一面（液体LQと接触しない面）81aにマイクロレンズアレイ83が形成されている。

マイクロレンズアレイ83は、例えば直交する2方向に配列された円形状の正屈折力を有する多数の微小レンズからなる光学素子である。尚、図1.1に示すマイクロレンズアレイ83はあくまでも例示であり、微小レンズの形状は円形状に限らず正方形状であってもよく、その配列は直交する2方向への配列に限らず稠密配列であっても良い。マイクロレンズアレイ83は、例えば平行平面ガラス板の一面にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成されている。

集光板81は、マイクロレンズアレイ83が形成された面81aと対向する平坦な面81bを投影光学系PL側（+Z方向）に向けて、且つ面81bが図3に示すシャーシ30の上面33と一致するように、シャーシ30に形成された開口32内に設けられている。尚、本実施形態では図3に示すNDフィルタ34は設けられていない。尚、マイクロレンズアレイ83をNDフィルタ34に貼り付けた構成、又はマイクロレンズアレイ83と受光素子82との間にNDフィルタを設けた構成としても良い。集光板81とシャーシ30との間は、投影光学系PLの像面側に供給される液体LQがシャーシ30内に浸入しないようシール材等によって防水対策が施されている。

また、受光素子 8 2 は受光面 8 2 a を集光板 8 1 に向け、且つ受光面 8 2 a のほぼ中心が集光板 8 1 の中央部のほぼ中心の真下（－Z 方向）に位置するように配置されている。この受光素子 8 2 は、集光板 8 1 で集光された光束の多くが受光面 8 2 a で受光されるよう、集光板 8 1 に近接して取り付けられている。尚、受光素子 8 2 の受光面 8 2 a には、ArF レーザ光に対する AR コートが施されている。

本実施形態の照射量センサ 8 0 を用いて露光領域に照射される露光光の光量を計測する場合には、第 1 実施形態の照射量センサ 3 7 での計測とは異なり、照明光学系 I S の照明条件をウェハ W に対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系 P L とシャーシ 3 0 の上面 3 3 との間に液体 L Q を供給した状態で行うことができる。投影光学系 P L とシャーシ 3 0 の上面 3 3 との間に液体 L Q が供給されている状態において、投影光学系 P L に入射した露光光は、投影光学系 P L の先端部において最外の光線も全反射されずに投影光学系 P L を通過して液体 L Q に入射する。

集光板 8 1 の屈折率は液体 L Q の屈折率と同程度又は液体 L Q の屈折率よりも高いため、液体 L Q に入射した露光光は集光板 8 1 に入射する。露光光の波面は集光板 8 1 の面 8 1 a に形成されたマイクロレンズアレイ 8 3 をなす多数の微小レンズにより二次元的に分割されるとともに微小レンズの屈折作用によって集束され、その後で分割された波面の各々は受光素子 8 2 の受光面 8 2 a に入射して受光される。

このように、本実施形態においても、投影光学系 P L から液体 L Q に入射した露光光が集光板 8 1 から射出されるまでは気体中を通過しない。このため、大きな入射角を有する露光光が集光板 8 1 に入射しても全反射されことなく集光板 8 1 内に取り込むことができ、更には受光素子 8 2 で受光することができる。また、照射量センサは、開口 3 2 の面積が大きいため、前述した第 2、第 3、第 5

実施形態で説明した照射むらセンサで用いた平凸レンズ41, 52, 71のような単レンズを開口32に設けて入射した光を集光する構成にすると、照射量センサが大型化してしまい、図1に示すウェハステージ15に搭載する上で不具合が生ずる。本実施形態では、このような単レンズを用いずにマイクロレンズアレイ83を用いることで、照射量センサ80を小型・軽量にすることができる。

尚、以上の説明では、集光板81の一面81aにマイクロレンズアレイ83が形成されている場合について説明したが、両面（面81a, 81b）にマイクロレンズアレイが形成されている集光板を用いても良い。また、マイクロレンズアレイに代えてフライアイレンズを用いることもできる。また、集光板81の一面81aにのみマイクロレンズアレイ83が形成されている場合には、図12に示す通り、集光板81の投影光学系PLに向く面81bに、マイクロレンズアレイ83をなす多数の微小レンズ各々に対応させて開口84を形成したものを用いても良い。図12は、マイクロレンズアレイに対する開口が形成された集光板の構成例を示す斜視図である。

図12に示す開口84は、例えば面81bの全面にCr（クロム）等の金属を蒸着し、微小レンズの各々に対応する箇所をエッチングすることで形成される。開口84は、各々の微小レンズに入射する光束の量を制限する絞りの働きをするため、NDフィルタと同様の機能を持たせることができる。本実施形態では、照明光学系ISの照明条件をウェハWに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定しているため、集光板81及び受光素子82の保護の観点から、開口84を形成するのが望ましい。尚、本実施形態では露光光センサ27に設けられる照射量センサ80について説明したが、例えば図5に示す平凸レンズ41に替えてマイクロレンズアレイが形成された集光板を用いることで照度むらセンサに適用することも可能である。

〔第7実施形態〕

次に、本発明の第7実施形態による露光装置について説明する。本実施形態の露光装置の全体構成は図1に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ27の構成が相違する。尚、本実施形態の露光装置が備える露光光センサ27は、上述した第2～第5実施形態と同様に、投影光学系PLの像面側の液体LQを介して計測動作を行うものである。但し、本実施形態においては、主として露光光センサ27に設けられる照射量センサについて説明する。

図13は、本発明の第7実施形態による露光装置に設けられる照射量センサの概略構成を示す図である。図13に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照射量センサ85は、拡散板86及び受光素子87を含んで構成され、拡散板86がシャーシ30に形成された開口32内に設けられている。拡散板86は合成石英又は蛍石から構成され、微細な凹凸が形成された面86aと平坦な面86bとを有し、面86bを投影光学系PL側（+Z方向）に向けて、且つ面86bが図3に示すシャーシ30の上面33と一致するよう開口32内に設けられている。尚、拡散板86とシャーシ30との間はシール材等によって防水対策が施されている。受光素子87は、受光面87aを拡散板86に向け、且つ受光面87aのほぼ中心が拡散板86の中央部のほぼ中心の真下（-Z方向）に位置するように配置されている。また、受光素子87は受光面87aを拡散板86に近接させた状態に配置されている。この受光素子87の受光面87aにはArFレーザ光に対するARコートが施されている。

本実施形態の照射量センサ85を用いて露光領域に照射される露光光の光量を計測する場合には、第6実施形態と同様に、照明光学系ISの照明条件をウェハWに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系PLとシャーシ30の上面33との間に液体LQを供給した状態で行う。この状態において、投影光学系PLに露光光が入射すると、露光光は投影光学系PLの先端部において最外の光線も全反射されずに投影光学系PLを通過して液体LQに入射し、更には屈折率が液体LQと同程度又は液体LQよりも高い拡散板86に入射する。拡散板86に入射した露光光は、拡散板86から射出される際に微細な

凹凸が形成された面 8 6 a で拡散され、その後に受光素子 8 7 の受光面 8 7 a に入射して受光される。

このように、本実施形態においても、投影光学系 P L から液体 L Q に入射した露光光は拡散板 8 6 から射出されるまでは気体中を通過していないため、大きな入射角を有する露光光が拡散板 8 6 に入射しても全反射されることはない。また、露光光が拡散板 8 6 から射出されるときに拡散される。これらにより、大きな入射角を有する露光光をより多く受光素子 8 7 で受光することができる。また、第 6 実施形態と同様に、照射量センサ 8 5 の小型化を図ることができる。

尚、以上の説明では、一面 8 6 a のみに微細な凹凸が形成された拡散板 8 6 を用いる場合を例に挙げて説明したが、両面 (8 6 a , 8 6 b) に微細な凹凸が形成された拡散板 8 6 を用いても良い。また、上記の拡散板 8 6 に代えて入射した露光光を回折作用により回折させて受光素子に入射させる D O E (回折光学素子) が形成された回折板を用いてもよい。ここで、D O E は、入射角が小さな光束に対しては回折角が小さく、入射角が大きな光束に対しては回折が大きくなるよう設計するのが望ましい。回折板を用いる場合には、D O E が片面のみに形成されたものを用いても良く、両面に形成されたものを用いても良い。また、上述の拡散板及び回折板は、照度むらセンサに適用することもできる。

〔第 8 実施形態〕

次に、本発明の第 8 実施形態による露光装置について説明する。本実施形態の露光装置の全体構成は図 1 に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ 2 7 の構成が相違する。尚、本実施形態の露光装置が備える露光光センサ 2 7 は、上述した第 2 ～第 5 実施形態と同様に、投影光学系 P L の像面側の液体 L Q を介して計測動作を行うものである。但し、本実施形態においては、主として露光光センサ 2 7 に設けられる照射量センサについて説明する。

図14は、本発明の第8実施形態による露光装置に設けられる照射量センサの概略構成を示す図である。図14に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照射量センサ90は、蛍光板91及び受光素子92を含んで構成される。蛍光板91は上面を一致させてシャーシ30に形成された開口32内に設けられており、入射する露光光によって励起され、露光光とは異なる波長の蛍光又は燐光を発するものである。つまり、蛍光板91は、真空紫外域の波長を有する露光光を、例えば可視領域の光に波長変換するものである。蛍光板91は、例えば、露光光を吸収してそれよりも長波長の蛍光または燐光を発する有機色素材を含有する光透過板や、有機色素を表面にコーティングした光透過板を用いることができる。この場合、受光素子は蛍光波長の感度に応じて適宜選択することができる。

尚、蛍光板91とシャーシ30との間はシール材等によって防水対策が施されている。受光素子92は、露光光の波長とは異なる波長領域（例えば、可視領域）を受光する特性を有している。この受光素子92は、受光面92aのほぼ中心が蛍光板91の中央部のほぼ中心の真下（-Z方向）に位置し、且つ蛍光板91に近接した位置に配置されている。受光素子92の受光面92aには蛍光及び燐光を含む可視領域の光に対するARコートが施されている。

本実施形態の照射量センサ90を用いて露光領域に照射される露光光の光量を計測する場合には、第6、第7実施形態と同様に、照明光学系ISの照明条件をウェハWに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系PLとシャーシ30の上面33との間に液体LQを供給した状態で行う。露光光の光量を計測する前に、予め蛍光板91に入射する光量と、蛍光板91から波長変換されて射出される光の光量との関係を求めておく。

照明光学系ISの照明条件が露光時の照明条件に設定されている状態において、投影光学系PLに露光光が入射すると、露光光は投影光学系PLの先端部において全反射されずに投影光学系PLを通過して液体LQを介して蛍光板91に入射する。露光光が蛍光板91に入射すると、その光量の一部又は全部が蛍光板91

によって吸収され、吸収した光量に応じた光量を有する蛍光又は燐光が発せられる。この蛍光又は燐光は、露光光の波長とは異なる波長を有し、露光光の入射角に依存しない方向に蛍光板 9 1 から射出され、その後受光素子 9 2 の受光面 9 2 a に入射して受光される。

このように、本実施形態においても、投影光学系 P L から液体 L Q に入射した露光光は蛍光板 9 1 から射出されるまでは気体中を通過していないため、大きな入射角を有する露光光が蛍光板 9 1 に入射しても全反射されることはない。また、入射角の大きな露光光が入射しても、その露光光は異なる波長を有する蛍光又は燐光に変換されて入射角とは異なる方向にも射出されるため、受光素子 9 2 での受光が容易になる。また、第 6、第 7 実施形態と同様に、照射量センサ 9 0 の小型化を図ることができる。

尚、蛍光板 9 1 に入射した露光光の全てが異なる波長の蛍光又は燐光に変換されない場合には、露光光の一部が蛍光板 9 1 を透過して受光素子 9 2 に入射する。上述した通り、受光素子 9 2 の受光特性は、露光光とは異なる波長領域の光を受光する特性であるため、露光光が受光素子 9 2 に入射してもさほど問題はない。しかしながら、蛍光板 9 1 を透過した露光光が受光素子 9 2 に入射することによって、例えば発熱等による計測誤差が生ずる場合には、蛍光板 9 1 と受光素子 9 2 との間に、蛍光板 9 1 で生じた蛍光又は燐光が含まれる波長領域の光は透過させ、露光光が含まれる波長領域の光は遮光するフィルタを設けるのが好ましい。

〔第 9 実施形態〕

次に、本発明の第 9 実施形態による露光装置について説明する。本実施形態の露光装置の全体構成は図 1 に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ 2 7 の構成が相違する。尚、本実施形態の露光装置が備える露光光センサ 2 7 は、上述した第 2 ～第 5 実施形態と同様に、投影光学系 P L の像面側の液体 L Q を介して計測動作を行うものであって、主に露光光センサ 2 7 に設けられる照

度むらセンサを例に挙げて説明する。もちろん、この実施形態も前述の照射量センサや後述する空間像計測装置にも適用することができる。

図15は、本発明の第9実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図である。図15(a)に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照度むらセンサ100は、導波部材101と受光素子102とを含んで構成される。導波部材101は、図3に示すシャーシ30に形成されたピンホール31の径よりも大きな径を有する円柱状であり、その中心軸とピンホール31の中心位置とをほぼ一致させて、ピンホール31の下方(−Z方向)に一端101aを当接させた状態で配置されている。

この導波部材101は、合成石英又は蛍石から構成されており、一端101aから内部に入射した露光光を外周(空気との境界)で全反射させつつ導波して他端101bから射出するものである。導波部材101として、例えばオプティカルインテグレートタの一種であるロッドインテグレートタ又は光ファイバを用いることができる。尚、導波部材101がシャーシ30に当接する部分は、シール材等によって防水対策が施されている。受光素子102は露光光を含む波長領域の光を受光する特性を有し、その受光面102aを導波部材101の他端101bに当接させた状態で配置されている。受光素子102の受光面102aにはARFレーザ光に対するARコートが施されている。

ここで、受光素子102の受光面102aを導波部材101の他端101bに当接させるのは、他端101bから射出される射出角の大きな露光光を受光素子102の受光面102aに入射させて受光するためである。つまり、導波部材101の他端101bからは種々の角度を有する露光光が射出されるため、導波部材101の他端101bと受光素子102の受光面102aとが離間している状態では、拡がりながら射出された露光光の全てを受光面102aに入射させることができず、特に射出角の大きな露光光を受光することができないからである。

本実施形態の照度むらセンサ１００を用いて露光領域に照射される露光光の光量を計測する場合には、第６～第８実施形態と同様に、照明光学系ＩＳの照明条件をウェハＷに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系ＰＬとシャーン３０の上面３３との間に液体ＬＱを供給した状態で行う。この状態において、投影光学系ＰＬに露光光が入射すると、露光光は投影光学系ＰＬの先端部において全反射されずに投影光学系ＰＬを通過して液体ＬＱ及びピンホール３１を介して一端１０１ａから導波部材１０１内に入射する。導波部材１０１に入射した露光光は導波部材１０１の外周で反射しながら導波部材１０１内を進行し、導波部材１０１の他端１０１ｂに当接した状態で配置されている受光素子で１０２で受光される。

このように、本実施形態においては、投影光学系ＰＬから液体ＬＱに入射し、ピンホール３１を通過した露光光は気体中を通過せずに導波部材１０１に入射する。このため、大きな入射角を有する露光光を含め露光領域に照射された露光光の多くを受光することができる。尚、以上の説明では、導波部材１０１と空気との屈折率差を利用して露光光を外周で全反射させつつ導波する場合について説明したが、外周に対する露光光の入射角が小さいと露光光が外周から外部に射出されてしまうことがある。このため、導波部材１０１の外周にＣｒ（クロム）等の金属を蒸着することが望ましい。

また、照度むらセンサ１００の構成上、導波部材１０１と受光部材１０２とを離間させて配置せざるを得ない場合も考えられる。かかる場合には、図１５

（ｂ）に示す通り、他端１０１ｂの形状を曲面形状（レンズ形状）として導波部材１０１内を進行した露光光の射出角を極力小さくすることが望ましい。更に、上記実施形態では円柱状の導波部材１０１について説明したが、その形状は四角柱、その他の形状のものをを用いることができる。

〔第１０実施形態〕

次に、本発明の第10実施形態による露光装置について説明する。本実施形態の露光装置の全体構成は図1に示す露光装置とほぼ同様の構成であるが、露光光センサ27の構成が相違する。尚、本実施形態の露光装置が備える露光光センサ27は、上述した第2～第5実施形態と同様に、投影光学系PLの像面側の液体LQを介して計測動作を行うものであって、主に露光光センサ27に設けられる照度むらセンサについて説明する。

図16は、本発明の第10実施形態による露光装置に設けられる照度むらセンサの概略構成を示す図である。図16に示す通り、本実施形態の露光装置に設けられる照度むらセンサ110は、オプティカルインテグレータの一種である積分球111と受光素子112とを含んで構成される。積分球111は、合成石英又は蛍石から構成されており、その一部を平坦に切り欠いて入射部111a及び射出部111bが形成されている。

入射部111aは、その径が図3に示すシャーシ30に形成されたピンホール31の径よりも大きな径に設定されている。積分球111は、入射部111aの中心位置とピンホール31の中心位置とをほぼ一致させて、ピンホール31の周囲部と入射部111aの外周部とを当接させた状態でピンホール31の下方（－Z方向）に配置されている。尚、入射部111aがシャーシ30に当接する部分は、シール材等によって防水対策が施されている。

射出部111bは入射部111aに対して所定の位置に所定の大きさの径に形成される。射出部111bの形成位置は、例えば入射部111aの中心を通り入射部111aに垂直な直線と、射出部111bの中心を通り射出部111bに垂直な直線とが直交する位置である。また、図16に示す例では、射出部111bには、射出角が大きな露光光を反射して受光素子112に導くためのガイド部111cが設けられている。

受光素子 112 は露光光を含む波長領域の光を受光する特性を有し、その受光面 112a を射出部 111b に向けた状態で配置されている。受光素子 112 の受光面 112a には ArF レーザ光に対する AR コートが施されている。尚、ここでは、積分球 111 の射出部 111b にガイド部 111c を設けて積分球 111 と受光素子 112 とを離間して配置した構成について説明するが、ガイド部 111c を省略して受光素子 112 の受光面 112a を積分球 111 の射出部 111b に当接させた構成であっても良い。

本実施形態の照度むらセンサ 110 を用いて露光領域に照射される露光光の光量を計測する場合には、前述した第 6 ～ 第 9 実施形態と同様に、照明光学系 IS の照明条件をウェハ W に対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系 PL とシャーシ 30 の上面 33 との間に液体 LQ を供給した状態で行う。この状態において、投影光学系 PL に露光光が入射すると、露光光は投影光学系 PL の先端部において全反射されずに投影光学系 PL を通過して液体 LQ 及びピンホール 31 を介して気体中を通過することなく入射端 111a から積分球 111 内に入射する。積分球 111 に入射した露光光は積分球 111 の外周で多重反射し、最終的には射出端 111b から射出される。射出端 111b から射出された露光光のうち射出角の小さなものは直接受光面 112a に入射し、射出角が大きなものはガイド部 111c で反射された後に受光面 112 に入射して受光される。

このように、本実施形態においても、投影光学系 PL から液体 LQ に入射し、ピンホール 31 を通過した露光光は、気体中を通過せずに積分球 111 に入射する。このため、大きな入射角を有する露光光が入射端 111a に入射しても全反射されることなく、最終的に受光素子 112 で受光することができる。尚、前述した第 9 実施形態と同様に、入射部 11a 及び射出部 111b を除いた積分球 111 全体に Cr (クロム) 等の金属を蒸着することが望ましい。

〔その他の実施形態〕

また、上記第2～第5実施形態では、露光光を集光する集光部材として1つの平凸レンズ41、45、52、57、62、71を備える場合を例に挙げて説明し、上記第6～第10実施形態では露光光を受光素子に入射させるための光学系として、集光板81、拡散板86、蛍光板91、導波部材101、及び積分球111を含む構成について説明した。しかしながら、平凸レンズ41、45、52、57、62、71と受光素子との間、並びに、集光板81、拡散板86、蛍光板91、導波部材101、及び積分球111と受光素子との間に複数のレンズを設けて露光光等を受光素子に導く構成が望ましい。

図17は、第2実施形態による露光装置が備える照度むらセンサ40の変形例を示す図である。図17に示す例では、平凸レンズ41からの露光光、特に入射角の大きな露光光をより簡単に平行光に変換するために、平凸レンズ41と受光素子42との間に2つのレンズ121、122が設けられている。平凸レンズ41と受光素子42との間にレンズ121、122を設けることによって平行光に変換された露光光を受光素子42に導いている。このようなレンズを第3～第10実施形態にも用いることができる。尚、レンズの数は任意の数でよい。

また、上述した第2～第10実施形態においては、照明光学系ISの照明条件をウェハWに対する露光処理を行うときに設定される照明条件に設定し、投影光学系PLの像面側に液体LQを供給した状態で照度むらを計測する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、これらの実施形態においても第1実施形態と同様に、投影光学系PLの像面側に液体LQが供給されていない状態で、極小 σ を有する開口絞り8eを第2フライアイレンズ7の射出面CJに配置して射出面CJにおける露光光の光束分布を調整することで、露光光の開き角の調整を行ってむらや光量等を計測することができる。

また、図1に示した露光装置においては、照度むらセンサと照射量センサとを一つのシャーシ30内に設けているが、別々にウェハステージ15上に配置するようにしても良い。また、液体LQの回収を容易とするために、露光光センサ2

7の液体と接触する面（上面）が撥水性になっている場合には、露光光（紫外線）の照射によって、その撥水性が劣化する虞がある。従って、液体LQと接触する面が撥水性のセンサを使って計測を行う場合には、例えば特開2001-144044号（対応米国特許6,730,925）に開示されているような複数のNDフィルタを備えたエネルギー（光量）調整器を使って、露光光の光量を最大光量の50%以下、望ましくは20%以下に減衰させるとよい。

尚、上述の実施形態においては、照度むらや積算光量むらを計測するための照度むらセンサや、投影光学系PLの像面側に照射される露光光の光量（照射量）を計測するための照射量センサについて説明したが、本発明は、米国特許6,650,399に開示されている波面収差を計測するためのセンサや特開2002-14005号公報（対応米国特許公開2002/0041377）に開示されている結像特性等を計測するための空間像計測センサや特開平11-238680号公報や国際公開第02/063664号公報（対応米国特許公開2004/0090606）に開示されているような基板ステージに対して着脱可能なセンサ等にも本発明は適用でき、投影光学系の開口数が多い場合でも投影光学系を通過した露光光を受光でき、各種の計測を所望の精度で実行することができる。なお、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、これら特許公報の開示を援用して本文の記載の一部とする。

〔第11実施形態〕

以下に、本発明の第11実施形態による露光装置について図面を参照しながら説明する。図20は本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

図20において、露光装置EXは、マスクMを支持するマスクステージMSTと、基板Pを支持する基板ステージPSTと、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明する照明光学系ILと、露光光ELで照明されたマスクMのパターン像を基板ステージPSTに支持されている基板Pに投影露光する投影光学系PLと、露光装置EX全体の動作を統括制御する制御装置C

ONTと、制御装置CONTに接続され、露光処理に関する各種情報を記憶した記憶装置MRYを備えている。更に露光装置EXは、投影光学系PLの結像特性（光学特性）の計測に用いられる空間像計測装置270を備えている。空間像計測装置270は、投影光学系PLの像面側に配置されたスリット部271を有するスリット板275を介して投影光学系PLを通過した光（露光光EL）を受光する受光器290を備えている。

本実施形態の露光装置EXは、露光波長を実質的に短くして解像度を向上するとともに焦点深度を実質的に広くするために液浸法を適用した液浸露光装置であって、基板P上に液体LQを供給する液体供給機構210と、基板P上の液体LQを回収する液体回収機構220とを備えている。露光装置EXは、少なくともマスクMのパターン像を基板P上に転写している間、液体供給機構210から供給した液体LQにより投影光学系PLの投影領域AR1を含む基板P上の一部に（局所的に）液浸領域AR2を形成する。具体的には、露光装置EXは、投影光学系PLの先端側（像面側）の光学素子260と基板Pの表面との間に液体LQを満たし、この投影光学系PLと基板Pとの間の液体LQ及び投影光学系PLを介して露光光ELを照射してマスクMのパターン像を基板P上に投影することによってこの基板Pを露光する。

本実施形態では、露光装置EXとしてマスクMと基板Pとを走査方向における互いに異なる向き（逆方向）に同期移動しつつマスクMに形成されたパターンを基板Pに露光する走査型露光装置（所謂スキャニングステッパ）を使用する場合を例にして説明する。以下の説明において、投影光学系PLの光軸AXと一致する方向をZ軸方向、Z軸方向に垂直な平面内でマスクMと基板Pとの同期移動方向（走査方向）をX軸方向、Z軸方向及びX軸方向に垂直な方向（非走査方向）をY軸方向とする。また、X軸、Y軸、及びZ軸まわりの回転（傾斜）方向をそれぞれ、 θX 、 θY 、及び θZ 方向とする。なお、ここでいう「基板」は半導体ウェハ上に感光性材料であるフォトレジストを塗布したものを含み、「マスク」は基板上に縮小投影されるデバイスパターンを形成されたレチクルを含む。

照明光学系 I L は、光源 2 0 1 より射出された光束（レーザビーム）L B を露光光 E L に変換し、マスクステージ M S T に支持されているマスク M を露光光 E L で照明するものである。照明光学系 I L から射出される露光光 E L としては、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g 線、h 線、i 線）及び K r F エキシマレーザ光（波長 2 4 8 n m）等の遠紫外光（D U V 光）や、A r F エキシマレーザ光（波長 1 9 3 n m）及び F₂ レーザ光（波長 1 5 7 n m）等の真空紫外光（V U V 光）等が用いられる。本実施形態においては A r F エキシマレーザ光が用いられる。

本実施形態において、液体 L Q には純水が用いられる。純水は A r F エキシマレーザ光のみならず、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g 線、h 線、i 線）及び K r F エキシマレーザ光（波長 2 4 8 n m）等の遠紫外光（D U V 光）も透過可能である。

本実施形態における光源 2 0 1 は、A r F エキシマレーザ光（波長 1 9 3 n m）を射出するエキシマレーザ光源であって、制御装置 C O N T によってそのレーザ発光のオン・オフや、中心波長、スペクトル半値幅、及び繰り返し周波数等を制御される。

照明光学系 I L は、ビーム整形光学系 2 0 2、オプティカルインテグレータ 2 0 3、照明系開口絞り板 2 0 4、リレー光学系 2 0 6、2 0 8、固定マスクブラインド 2 0 7 A、可動マスクブラインド 2 0 7 B、ミラー 2 0 9、及びコンデンサレンズ 2 3 0 等を備えている。本実施形態では、オプティカルインテグレータ 2 0 3 としてフライアイレンズが用いられるが、ロッド型（内面反射型）インテグレータ、あるいは回折光学素子等であってもよい。ビーム整形光学系 2 0 2 内には、光源 2 0 1 でパルス発光されたレーザビーム L B の断面形状を、該レーザビーム L B の光路後方に設けられたオプティカルインテグレータ 2 0 3 に効率良く入射するように整形するための、例えばシリンドリカルレンズやビームエキス

パンダ等が含まれている。オプティカルインテグレータ（フライアイレンズ）203は、ビーム整形光学系202から射出されたレーザビームLBの光路上に配置され、マスクMを均一な照度分布で照明するために多数の点光源（光源像）からなる面光源、すなわち2次光源を形成する。

オプティカルインテグレータ203の射出側焦点面の近傍には、円板状部材からなる照明系開口絞り板204が配置されている。この照明系開口絞り板204には、ほぼ等角度間隔で、例えば通常の円形開口からなる開口絞り（通常絞り）、小さな円形開口からなりコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り（小 σ 絞り）、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り（輪帯絞り）、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置した変形開口絞り（SHRINCとも呼ばれる四重極照明絞り）等が配置されている。この照明系開口絞り板204は、制御装置CONTにより制御されるモータ等の駆動装置231によって回転されるようになっており、これによりいずれかの開口絞りが露光光ELの光路上に選択的に配置される。

なお、本例においては、照明系開口絞り板204を用いて照明光学系ILの瞳面での光強度分布の調整を行っているが、米国特許6,563,567に開示されているような他の光学系を用いてもよい。なお、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、それらの開示を援用して本文の記載の一部とする。

照明系開口絞り板204を通過した露光光ELの光路上に、反射率が小さく透過率の大きいビームスプリッタ205が配置され、更にこの後方の光路上に、マスクブラインド207A、207Bを介在させてリレー光学系（206、208）が配置されている。固定マスクブラインド207Aは、マスクMのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、マスクM上の照明領域IAを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定マスクブラインド207Aの近傍に走査方向（X軸方向）及びこれに直交する非走査方向（Y軸

方向)にそれぞれ対応する方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動マスクブラインド207Bが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動マスクブラインド207Bを介して照明領域IAを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。また、本実施形態では、可動マスクブラインド207Bは、後述する空間像計測の際の照明領域の設定にも用いられる。一方、照明光学系IL内のビームスプリッタ205で反射された露光光ELの光路上には、集光レンズ232、及び遠紫外域で感度が良く、且つ光源201のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するPIN型フォトダイオード等の受光素子からなるインテグレートセンサ233が配置されている。

このようにして構成された照明光学系ILの作用を簡単に説明すると、光源201からパルス発光されたレーザビームLBは、ビーム整形光学系202に入射して、ここで後方のオプティカルインテグレート203に効率良く入射するようにその断面形状が整形された後、オプティカルインテグレート203に入射する。これにより、オプティカルインテグレート203の射出側焦点面(照明光学系ILの瞳面)に2次光源が形成される。この2次光源から射出された露光光ELは、照明系開口絞り板204上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さいビームスプリッタ205に入射する。このビームスプリッタ205を透過した露光光ELは、第1リレーレンズ206を経て固定マスクブラインド207Aの矩形の開口部及び可動マスクブラインド207Bを通過した後、第2リレーレンズ208を通過してミラー209によって光路を垂直下方に折り曲げられる。ミラー209によって光路を折り曲げられた露光光ELは、コンデンサレンズ230を経て、マスクステージMSTに保持されたマスクM上の照明領域IAを均一な照度分布で照明する。

一方、ビームスプリッタ205で反射された露光光ELは、集光レンズ232を介してインテグレートセンサ233で受光され、インテグレートセンサ233の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を有する信号処理装置を介して制御装置CONTに供給される。本実施形態では、インテグレ

ータセンサ 233 の計測値は、露光量制御に用いられる他、投影光学系 PL に対する照射量の計算に用いられ、この照射量は基板反射率（これは、インテグレータセンサの出力と不図示の反射率モニタの出力とに基づいて求めることもできる）とともに、投影光学系 PL の照明光吸収による結像特性の変化量の算出に用いられる。本実施形態では、所定の間隔で、制御装置 CONT により、インテグレータセンサ 233 の出力に基づいて照射量が計算され、その計算結果が照射履歴として、記憶装置 MRY に記憶されるようになっている。

マスクステージ MST は、マスク M を保持して移動可能であって、例えばマスク M を真空吸着（又は静電吸着）により固定している。マスクステージ MST は、マスクベース 255 上に非接触ベアリングである気体軸受（エアベアリング）を介して非接触支持されており、リニアモータ等を含むマスクステージ駆動装置 MST D により、投影光学系 PL の光軸 AX に垂直な平面内、すなわち XY 平面内で 2 次元移動可能及び θZ 方向に微少回転可能である。そして、マスクステージ MST は、マスクベース 255 上を X 軸方向に指定された走査速度で移動可能となっており、マスク M の全面が少なくとも投影光学系 PL の光軸 AX を横切ることができるだけの X 軸方向の移動ストロークを有している。

マスクステージ MST 上には移動鏡 241 が設けられている。また、移動鏡 241 に対向する位置にはレーザ干渉計 242 が設けられている。マスクステージ MST 上のマスク M の 2 次元方向の位置、及び θZ 方向の回転角（場合によっては θX 、 θY 方向の回転角も含む）はレーザ干渉計 242 によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置 CONT に出力される。制御装置 CONT は、レーザ干渉計 242 の計測結果に基づいてマスクステージ駆動装置 MST D を駆動することでマスクステージ MST に支持されているマスク M の位置を制御する。

投影光学系 PL は、マスク M のパターンを所定の投影倍率 β で基板 P に投影露光するものであって、基板 P 側の先端部に設けられた光学素子（レンズ）260 を含む複数の光学素子で構成されており、これら光学素子は鏡筒 PK で支持され

ている。本実施形態において、投影光学系 P L は、投影倍率 β が例えば $1/4$ あるいは $1/5$ の縮小系である。なお、投影光学系 P L は等倍系及び拡大系のいずれでもよい。また、投影光学系 P L は屈折系、反射系、反射屈折系のいずれでもよい。

本実施形態の投影光学系 P L の先端部の光学素子 260 はレンズセル 262 で保持されており、その光学素子 260 を保持したレンズセル 262 と鏡筒 P K の先端部とが連結機構 261 によって連結されている。光学素子 260 には液浸領域 A R 2 の液体 L Q が接触する。光学素子 260 は蛍石で形成されている。蛍石は水との親和性が高いので、光学素子 260 の液体接触面 260 a のほぼ全面に液体 L Q を密着させることができる。すなわち、本実施形態においては光学素子 260 の液体接触面 260 a との親和性が高い液体（水）L Q を供給するようにしているので、光学素子 260 の液体接触面 260 a と液体 L Q との密着性が高く、光学素子 260 と基板 P との間の光路を液体 L Q で確実に満たすことができる。なお、光学素子 260 は、水との親和性が高い石英であってもよい。また、光学素子 260 の液体接触面 260 a に親水化（親液化）処理を施して、液体 L Q との親和性をより高めるようにしてもよい。

基板ステージ P S T は、基板 P を保持して移動可能であって、X Y ステージ 253 と、X Y ステージ 253 上に搭載された Z チルトステージ 252 とを含んで構成されている。X Y ステージ 253 は、ステージベース 254 の上面の上方に不図示の非接触ベアリングである気体軸受（エアベアリング）を介して非接触支持されている。X Y ステージ 253（基板ステージ P S T）はステージベース 254 の上面に対して非接触支持された状態で、リニアモータ等を含む基板ステージ駆動装置 P S T D により、投影光学系 P L の光軸 A X に垂直な平面内、すなわち X Y 平面内で 2 次元移動可能及び θ Z 方向に微小回転可能である。この X Y ステージ 253 上に Z チルトステージ 252 が搭載され、Z チルトステージ 252 上に基板ホルダ 251 が搭載されている。この基板ホルダ 251 によって、基板 P が真空吸着等により保持されている。Z チルトステージ 252 は、後述するア

クチュエータにより、Z軸方向、 θ X方向、及び θ Y方向にも移動可能に設けられている。上記アクチュエータを含む基板ステージ駆動装置P S T Dは制御装置CONTにより制御される。基板ステージP S Tは、基板Pのフォーカス位置（Z位置）及び傾斜角を制御して基板Pの表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系P Lの像面に合わせ込むとともに、基板PのX軸方向及びY軸方向における位置決めを行う。

また、基板ステージP S T（基板ホルダ2 5 1）上には、基板Pを囲むように補助プレート2 5 7が設けられている。補助プレート2 5 7は基板ホルダ2 5 1に保持された基板Pの表面とほぼ同じ高さの平面を有している。基板Pのエッジ領域を露光する場合にも、補助プレート2 5 7により投影光学系P Lの下に液体L Qを保持することができる。

なお、補助プレート2 5 7は、基板ホルダ2 5 1の周囲のみに形成されているが、基板ステージP S Tの上面がほぼ面一となるように、空間像計測装置2 7 0の周囲や基板ホルダ2 5 1と空間像計測装置2 7 0の間にも補助プレート2 5 7を配置することもできる。このようにすることで、空間像計測装置2 7 0の上面が液浸領域A R 2よりも小さくても、補助プレート2 5 7により投影光学系P Lの下に液体L Qを保持することができる。

基板ステージP S T（Zチルトステージ2 5 2）上には移動鏡2 4 3が設けられている。また、移動鏡2 4 3に対向する位置にはレーザ干渉計2 4 4が設けられている。基板ステージP S T上の基板Pの2次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計2 4 4によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはレーザ干渉計2 4 4の計測結果に基づいてリニアモータ等を含む基板ステージ駆動装置P S T Dを駆動することで基板ステージP S Tに支持されている基板Pの位置決めを行う。

また、露光装置EXは、基板ステージPST（基板ホルダ251）に支持されている基板Pの表面の位置を検出するフォーカス検出系245を備えている。フォーカス検出系245は、基板P上に液体LQを介して斜め方向より検出用光束を投射する投光部245Aと、基板Pで反射した前記検出用光束の反射光を受光する受光部245Bとを備えている。フォーカス検出系245（受光部245B）の受光結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはフォーカス検出系245の検出結果に基づいて、基板P表面のZ軸方向の位置情報を検出することができる。また、投光部245Aより複数の検出用光束を投射することにより、基板Pの θX 及び θY 方向の傾斜情報を検出することができる。なお、フォーカス検出系245の構成としては、例えば特開平6-283403号公報（対応米国特許5,448,332）等の開示されているものを用いることができ、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、この開示を援用して本文の記載の一部とする。なお、フォーカス検出系245として、液浸領域AR2の外側で液体LQを介さずに基板P表面に検出用の光束を投射し、その反射光を受光するものを用いることもできる。

制御装置CONTは、走査露光時等に、受光部245Bからの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えばSカーブ信号に基づいて焦点ずれが零となるように、後述するZ位置駆動部256A～256C（図21等参照）を含む基板ステージ駆動装置PSTDを介してZチルトステージ252のZ軸方向への移動、及び2次元的に傾斜（ θX 、 θY 方向の回転）を制御する。すなわち、制御装置CONTは、多点フォーカス検出系245を用いてZチルトステージ252の移動を制御することにより、投影光学系PLの結像面と基板Pの表面とを実質的に合致させるオートフォーカス及びオートレベリングを実行する。

また、投影光学系PLの先端近傍には、基板P上のアライメントマークあるいは基板ステージPST上に設けられた不図示の基準部材上に形成された基準マークを検出するオフアクシス方式の基板アライメント系246が設けられている。また、マスクステージMSTの近傍には、マスクMと投影光学系PLとを介して

前記基準部材に設けられた基準マークを検出するマスクアライメント系247が設けられている。本実施形態では、このアライメント系として、画像処理方式のアライメントセンサ、いわゆるFIA (Field Image Alignment) 系が用いられている。なお、基板アライメント系246の構成としては、例えば特開平4-65603号公報（対応米国特許5,493,403）に開示されているものを用いることができ、マスクアライメント系247の構成としては、特開平7-176468号公報（対応米国特許5,646,313）に開示されているものを用いることができる。

図21は、液体供給機構210、液体回収機構220、及び投影光学系PLを示す拡大図である。投影光学系PLは、鏡筒PKに保持された複数枚（ここでは10枚）の光学素子264a～264jと、投影光学系PLの像面側（基板P側）のレンズセル262に保持された光学素子260とを備えている。投影光学系PLを構成する光学素子264a～264jのうち、その一部、例えば光学素子264a、264bは、それぞれ複数の駆動素子（例えばピエゾ素子等）263によって光軸AX方向及びXY面に対する傾斜方向に微小駆動可能に構成されている。また、光学素子264d、264eの間、及び光学素子264f、264gの間には、それぞれ密閉状態とされた第1、第2密閉室265A、265Bが形成されている。これら第1、第2密閉室265A、265Bには、不図示のガス供給機構から圧力調整機構266を介してクリーンな気体、例えばドライエアが供給されるようになっている。

本実施形態では、各駆動素子263に与えられる駆動電圧（駆動素子の駆動量）及び第1、第2密閉室265A、265B内部の気体の圧力（内部圧力）を調整する圧力調整機構266が、制御装置CONTからの指令に応じて結像特性制御装置267により制御され、これによって、投影光学系PLの結像特性、例えば、像面湾曲、ディストーション、倍率等が補正されるようになっている。なお、かかる結像特性を調整する結像特性調整機構は、光学素子264aのような可動光学素子のみによって構成してもよく、その可動光学素子の数も任意でよい。

但し、この場合、可動光学素子の数が、フォーカスを除く、投影光学系 P L の結像特性の補正可能な種類に対応するので、補正が必要な結像特性の種類に応じて可動光学素子の数を定めればよい。

Zチルトステージ 2 5 2 は、3つのZ位置駆動部 2 5 6 A、2 5 6 B、2 5 6 C（但し、紙面奥側のZ位置駆動部 2 5 6 Cは不図示）によってXYステージ 2 5 3 上に3点で支持されている。これらのZ位置駆動部 2 5 6 A～2 5 6 Cは、Zチルトステージ 2 5 2 下面のそれぞれの支持点を投影光学系 P L の光軸方向（Z方向）に独立して駆動する3つのアクチュエータ（例えばボイスコイルモータなど）2 5 9 A、2 5 9 B、2 5 9 C（但し、図 2 1 における紙面奥側のアクチュエータ 2 5 9 Cは不図示）と、Zチルトステージ 2 5 2 のZ位置駆動部 2 5 6 A、2 5 6 B、2 5 6 CによるZ軸方向の駆動量（基準位置からの変位）を検出するエンコーダ 2 5 8 A、2 5 8 B、2 5 8 C（但し、図 2 1 における紙面奥側のエンコーダ 2 5 8 Cは不図示）とを含んで構成されている。ここでエンコーダ 2 5 8 A～2 5 8 Cとしては、例えば光学式又は静電容量式などのリニアエンコーダが使用されている。本実施形態では、上記アクチュエータ 2 5 6 A、2 5 6 B、2 5 6 Cによって、Zチルトステージ 2 5 2 を光軸 A X 方向（Z軸方向）及び光軸に直交する面（X Y 面）に対する傾斜方向すなわち θX 、 θY 方向に駆動する駆動装置が構成されている。また、エンコーダ 2 5 8 A～2 5 8 Cで計測されるZチルトステージ 2 5 2 のZ位置駆動部 2 5 6 A、2 5 6 B、2 5 6 Cによる各支持点のZ軸方向の駆動量（基準点からの変位量）は制御装置 C O N T に出力され、制御装置 C O N T は、そのエンコーダ 2 5 8 A～2 5 8 Cの計測結果に基づいて、Zチルトステージ 2 5 2 のZ軸方向の位置及びレベルング量（ θX 回転量、 θY 回転量）を求めるようになっている。

液体供給機構 2 1 0 は、露光処理時を含む所定の期間において投影光学系 P L と基板 P との間に液体 L Q を供給するものであって、液体 L Q を送出可能な液体供給部 2 1 1 と、液体供給部 2 1 1 に供給管 2 1 2 を介して接続され、この液体供給部 2 1 1 から送出された液体 L Q を基板 P 上に供給する供給ノズル 2 1 3 と

を備えている。供給ノズル 2 1 3 は基板 P の表面に近接して配置されている。液体供給部 2 1 1 は、液体 L Q を収容するタンク、及び加圧ポンプ等を備えており、供給管 2 1 2 及び供給ノズル 2 1 3 を介して基板 P 上に液体 L Q を供給する。液体供給部 2 1 1 の液体供給動作は制御装置 C O N T により制御され、制御装置 C O N T は液体供給部 2 1 1 による基板 P 上に対する単位時間あたりの液体供給量を制御可能である。なお、液体供給機構 2 1 0 のタンク、加圧ポンプなどは、必ずしも露光装置 E X が備えている必要はなく、それらの少なくとも一部を露光装置 E X が設置される工場などの設備で代用することもできる。

液体回収機構 2 2 0 は、露光処理時を含む所定の期間において投影光学系 P L と基板 P との間の液体 L Q を回収するものであって、基板 P の表面に近接して配置された回収ノズル 2 2 3 と、回収ノズル 2 2 3 に回収管 2 2 2 を介して接続された液体回収部 2 2 1 とを備えている。液体回収部 2 2 1 は、真空ポンプを含む真空系（吸引装置）、及び回収した液体 L Q を収容するタンク等を含んで構成されており、その動作は制御装置 C O N T に制御される。液体回収部 2 2 1 の真空系が駆動することにより、基板 P 上の液体 L Q は回収ノズル 2 2 3 を介して回収される。なお真空系として、露光装置に真空ポンプを設けずに、露光装置 E X が配置される工場の真空系を用いるようにしてもよい。また、液体回収機構 2 2 0 のタンクも、必ずしも露光装置 E X が備えている必要はなく、それらの少なくとも一部を露光装置 E X が設置される工場などの設備で代用することもできる。

なお、回収管 2 2 2 の途中、具体的には回収ノズル 2 2 3 と真空系との間に、回収ノズル 2 2 3 から吸い込まれた液体 L Q と気体とを分離する気液分離器を設けることが好ましい。基板 P 上の液体 L Q を吸引回収する際、液体回収部（真空系） 2 2 1 では、液体 L Q をその周囲の気体（空気）とともに回収する状況が生じる可能性があるため、気液分離器によって回収ノズル 2 2 3 から回収された液体と気体とを分離することにより、真空系に液体 L Q が流入してその真空系が故障する等の不都合の発生を防止することができる。液体回収部 2 2 1 に回収され

た液体L Qは、例えば廃棄されたり、あるいはクリーン化されて液体供給部211等に戻され再利用される。

なお、液体供給機構210及び液体回収機構220は、投影光学系PLに対して分離して支持されている。これにより、液体供給機構210及び液体回収機構220で生じた振動が投影光学系PLに伝わることがない。

図22は、液体供給機構210及び液体回収機構220と投影光学系PLの投影領域AR1との位置関係を示す平面図である。投影光学系PLの投影領域AR1はY軸方向に細長い矩形状（スリット状）となっており、その投影領域AR1をX軸方向に挟むように、+X側に3つの供給ノズル213A～213Cが配置され、-X側に2つの回収ノズル223A、223Bが配置されている。そして、供給ノズル213A～213Cは供給管212を介して液体供給部211に接続され、回収ノズル223A、223Bは回収管222を介して液体回収部221に接続されている。また、供給ノズル213A～213Cと回収ノズル223A、223Bとをほぼ180°回転した位置関係で、供給ノズル216A～216Cと、回収ノズル226A、226Bとが配置されている。供給ノズル213A～213Cと回収ノズル226A、226BとはY軸方向に交互に配列され、供給ノズル216A～216Cと回収ノズル223A、223BとはY軸方向に交互に配列され、供給ノズル216A～216Cは供給管215を介して液体供給部211に接続され、回収ノズル226A、226Bは回収管225を介して液体回収部221に接続されている。

図23は、投影光学系PLの結像特性（光学特性）の計測に用いられる空間像計測装置270を示す概略構成図である。空間像計測装置270は、投影光学系PLの像面側に配置されたスリット部271を有するスリット板275を介して投影光学系PLを通過した光を受光する受光器290を備えている。スリット板275は、投影光学系PLの像面側のZチルトステージ252に設けられている。受光器290は、Zチルトステージ252内部においてスリット板275に近い

位置に配置された光学素子 276 と、光学素子 276 を通過した光の光路を折り曲げるミラー 277 と、ミラー 277 を介した光が入射する光学素子 278 と、光学素子 278 を通過した光を Z チルトステージ 252 外部に送る送光レンズ 279 と、Z チルトステージ 252 外部に設けられ、送光レンズ 279 からの光の光路を折り曲げるミラー 280 と、ミラー 280 を通過した光を受ける受光レンズ 281 と、受光レンズ 281 を介した光を受光する光電変換素子からなる光センサ（受光素子）282 とを備えている。

スリット板 275 は、平面視長形状のガラス板部材 274 と、ガラス板部材 274 の上面中央部に設けられたクロム等からなる遮光膜 272 と、その遮光膜 272 の周囲、すなわちガラス板部材 274 の上面のうち遮光膜 272 以外の部分に設けられたアルミニウム等からなる反射膜 273 と、遮光膜 272 の一部に形成された開口パターンであるスリット部 271 とを備えている。スリット部 271 においては透明部材であるガラス板部材 274 が露出しており、光はスリット部 271 を透過可能である。

Z チルトステージ 252 の上面において基板ホルダ 251 と隣り合う位置には凸部 283 が設けられており、その凸部 283 の上部には開口部 284 が設けられている。スリット板 275 は凸部 283 の開口部 284 に対して着脱可能となっており、その開口部 284 を塞ぐ状態で上方から嵌め込まれている。

ガラス板部材 274 の形成材料としては、ArF エキシマレーザ光あるいは KrF エキシマレーザ光に対する透過性の良い合成石英あるいは蛍石などが用いられる。なお、合成石英の ArF エキシマレーザ光に対する屈折率は 1.56、KrF エキシマレーザ光に対する屈折率は 1.51 程度である。

光学素子 276 は、Z チルトステージ 252 内部においてスリット部 271 の下方に配置されており、保持部材 285 で保持されている。光学素子 276 を保持した保持部材 285 は、凸部 283 の内壁面 283A に取り付けられている。

Zチルトステージ252内部に配置されている光学素子276を通過した光は、ミラー277でその光路を折り曲げられた後、光学素子278を通過する。光学素子278を通過した光は、Zチルトステージ252の+X側側壁に固定されている送光レンズ279によってZチルトステージ252の外部に送出される。送光レンズ279によってZチルトステージ252外部に送出された光は、ミラー280によって受光レンズ281に導かれる。受光レンズ281とその受光レンズ281の上方に配置されている光センサ282とは、所定の位置関係を保ってケース286に収納されている。ケース286は取付部材287を介してステージベース254の上面に設けられた支柱288の上端部近傍に固定されている。

なお、ミラー277、光学素子278、及び送光レンズ279等はZチルトステージ252に対して着脱可能である。また、受光レンズ281及び光センサ282を収納したケース286を支持する支柱288は、ステージベース254に対して着脱可能となっている。

光センサ282には、微弱な光を精度良く検出可能な光電変換素子（受光素子）、例えばフォト・マルチプライヤ・チューブ（PMT、光電子増倍管）等が用いられる。光センサ282からの光電変換信号は、信号処理装置を介して制御装置CONTに送られるようになっている。

図24は、空間像計測装置270を使って投影光学系PLの結像特性を計測している状態を示す図である。図24に示すように、投影光学系PLの結像特性の計測中には、投影光学系PLとスリット板275とを対向させた状態で、液体供給機構210及び液体回収機構220を使って、投影光学系PLの先端側（像面側）の光学素子260とスリット板275との間に液体LQを流すようにする。そして、投影光学系PLの光学素子260とスリット板275との間に液体LQを満たした状態で、投影光学系PL及び液体LQを介した光（露光光EL）が空間像計測装置270を構成するスリット板275に照射される。またこのときの

スリット板 275 の上面 275 A の面位置情報は、フォーカス検出系 245 を使って検出可能である。

図 25 は、空間像計測装置 270 のうち、凸部 283 内部に配置されたスリット板 275 及び光学素子 276 近傍を示す要部拡大断面図、図 26 は、スリット板 275 を上方から見た平面図である。なお図 25 においては、受光器 290 は簡略化して図示されており、受光器 290 を構成する複数の光学素子及び部材のうち、光の光路上においてスリット板 275 に最も近い位置に配置された光学素子 276、及びその光学素子 276 を通過した光を受光する光センサ 282 のみが図示されている。図 25 に示す空間像計測装置 270 において、スリット板 275 と受光器 290 との間には液体 LQ が満たされている。本実施形態において、液体 LQ は、凸部 283 の開口部 284 に嵌合されているスリット板 275 の下面と、受光器 290 の光路上に配置された複数の光学素子（光学部材）のうちスリット板 275 に最も近い位置に配置された光学素子 276 との間に満たされている。光学素子 276 は、スリット板 275 の下方位置において、凸部 283 の内壁面 283 A に取り付けられた保持部材 285 に保持されており、液体 LQ は、スリット板 275、保持部材 285、及び光学素子 276 に囲まれた空間 S P に満たされている。本実施形態において、光学素子 276 は平凸レンズにより構成されており、その平坦面を上方に向けて配置されている。そして、保持部材 285 の内底面 285 A と、光学素子 276 の上面（平坦面）276 A とがほぼ面一となっている。また、保持部材 285 は断面視略上向きコ字状に形成され、その保持部材 285 の外側面 285 B と凸部 283 の内壁面 283 A とは密接されており、保持部材 285 の上端面（スリット板 275 との接合面）285 C とスリット板 275 との間には O リングなどのシール部材 291 が設けられている。これにより、空間 S P に満たされた液体 LQ が外部に漏洩する不都合が防止されている。

スリット板 275 及び光学素子 276 を保持した保持部材 285 は、凸部 283 の内壁面 283 A に対して着脱可能となっている。保持部材 285 を取り付け

る際には、凸部 283 の開口部 284 より光学素子 276 を保持した保持部材 285 を凸部 283 内部に挿入し（このときスリット板 275 は取り付けられていない）、不図示の固定部材で保持部材 285 と凸部 283 の内壁面 283A とを固定する。次いで、開口部 284 にスリット板 275 が嵌め込まれる。一方、保持部材 285 を外す際には、スリット板 275 を開口部 284 より取り外した後、保持部材 285 を開口部 284 を介して引き抜けばよい。

また、露光装置 EX は、スリット板 275 と受光器 290 の光学素子 276 との間の空間 SP に液体 LQ を供給する液体供給装置 300 と、その空間 SP の液体 LQ を回収する液体回収装置 304 とを備えている。凸部 283 及び保持部材 285 の +X 側の壁部には空間 SP に接続する供給流路 302 が形成され、-X 側の壁部には空間 SP に接続する回収流路 306 が形成されている。また、液体供給装置 300 には供給管 301 の一端部が接続され、供給管 301 の他端部は継手 303 を介して供給流路 302 に接続されている。液体回収装置 304 には回収管 305 の一端部が接続され、回収管 305 の他端部は継手 307 を介して回収流路 306 に接続されている。また、供給管 301 及び回収管 305 のそれぞれの途中にはその流路を開閉するバルブ 301A、305A が設けられている。液体供給装置 300、液体回収装置 304、及びバルブ 301A、305A の動作は制御装置 CONT によって制御され、制御装置 CONT は、これらを制御して空間 SP に対する液体 LQ の供給及び回収を行うことで、空間 SP を液体 LQ で満たす。

図 26 に示すように、スリット板 275 は、平面視長形状のガラス板部材 274 の上面中央部に設けられたクロム等からなる遮光膜 272 と、その遮光膜 272 の周囲、すなわちガラス板部材 274 の上面のうち遮光膜 272 以外の部分に設けられたアルミニウム等からなる反射膜 273 と、遮光膜 272 の一部に形成された開口パターンであるスリット部 271 とを備えている。スリット部 271 においては透明部材であるガラス板部材 274 が露出しており、光はスリット

部 271 を透過可能である。スリット部 271 は Y 軸方向を長手方向とする矩形状（長方形状）のスリットであって、所定幅 2D を有している。

次に、上述した空間像計測装置 270 を使って投影光学系 PL の結像特性を計測する手順について説明する。

空間像（投影像）を計測するに際し、制御装置 CONT は、基板ステージ PST を移動して、投影光学系 PL とスリット板 275 とを対向させる（つまり図 24 に示す状態にする）。そして、液体供給機構 210 及び液体回収機構 220 を使って投影光学系 PL の先端部の光学素子 260 とスリット板 275 との間に液体 LQ を満たす。これと並行して（あるいはその前又は後に）、制御装置 CONT は、図 25 に示すように、液体供給装置 300 及び液体回収装置 304 を使って、受光器 290 の光学素子 276 とスリット板 275 との間に液体 LQ を満たす。ここで、以下の説明において、投影光学系 PL とスリット板 275 との間に満たされた LQ によって形成される液浸領域を「第 1 液浸領域 LA1」と、スリット板 275 と受光器 290（光学素子 276）との間に満たされた液体 LQ によって形成される液浸領域を「第 2 液浸領域 LA2」と適宜称する。

空間像の計測時において、マスクステージ MST には、後述する計測マークを備えたマスク M が支持されている。制御装置 CONT は、照明光学系 IL によりマスク M を露光光 EL で照明する。前記計測マーク、投影光学系 PL、及び第 1 液浸領域 LA1 の液体 LQ を介した光（露光光 EL）は、スリット板 275 に照射される。そのスリット板 275 のスリット部 271 を通過した光は、第 2 液浸領域 LA2 の液体 LQ を介して光学素子 276 に入射する。

投影光学系 PL とスリット板 275 との間の第 1 液浸領域 LA1 の液体 LQ によって投影光学系の開口数 NA が向上するため、投影光学系 PL の開口数 NA に応じて、受光器 290 の光学素子 276 の開口数 NA も向上させないと、光学素子 276 は、投影光学系 PL を通過した光を良好に（全て）取り込むことができ

ない可能性があり、光を良好に受光できなくなる。そこで、本実施形態のように、投影光学系PLとスリット板275との間に液体LQを満たすことによって投影光学系PLの開口数NAを向上させた場合には、スリット板275と受光器290の光学素子276との間にも液体LQを満たして受光器290の光学素子276の開口数NAを向上させることで、受光器290の光学素子276は投影光学系PLを介した光を良好に取り込むことができる。

光学素子276は第2液浸領域LA2を介した光を集光する。光学素子276で集光された光は、ミラー277、光学素子278、及び送光レンズ279を介して基板ステージPSTの外部に導き出される(図23)。そして、その基板ステージPSTの外部に導き出された光は、ミラー280によって光路を折り曲げられ、受光レンズ281を介して光センサ282によって受光され、その光センサ282からその受光量に応じた光電変換信号(光量信号)が信号処理装置を介して制御装置CONTに出力される。

後述するように、本実施形態では、計測マークの投影像(空間像)の計測はスリットスキャン方式により行われるので、その際には送光レンズ279が、受光レンズ281及び光センサ282に対して移動することになる。そこで、空間像計測装置270では、所定の範囲内で移動する送光レンズ279を介した光が全て受光レンズ281に入射するように、各レンズ及びミラー280の大きさが設定されている。

空間像計測装置270では、光センサ282が基板ステージPSTの外部の所定位置に設けられているため、光センサ282の発熱に起因するレーザ干渉計244の計測精度等に及ぼす影響が可能な範囲で抑制される。また、基板ステージPSTの外部と内部とをライトガイド等により接続していないので、基板ステージPSTの外部と内部とがライトガイドにより接続された場合のように基板ステージPSTの駆動精度が影響を受けることがない。もちろん、熱の影響等を見無視、あるいは排除できるような場合には、光センサ282を基板ステージPSTの内

部に設けてもよい。すなわち、受光器 290 を構成する複数の光学素子や受光素子のうち、その一部が基板ステージ P S T に設けられていてもよいし、全部が基板ステージ P S T に設けられていてもよい。

本実施形態において、「第 1 液浸領域 L A 1」と「第 2 液浸領域 L A 2」に用いる液体 L Q は、同一種の液体を用いても良く、あるいは異なる種類、特に露光光に対して屈折率の異なる液体を用いても良い。特に、「第 1 液浸領域 L A 1」に用いる液体は、投影光学系の先端に設けられた光学素子の N A または屈折率を考慮して選択するのが好適であり、一方、「第 2 液浸領域 L A 2」に用いる液体は、ガラス板部材 274 の屈折率、及び／又は光学素子 276 の寸法や屈折率を考慮して選択することができる。

なお、本実施形態では、スリット板 275 と受光器 290（光学素子 276）との間に液体 L Q を満たした空間像計測装置 270 を、液浸露光装置に適用した例について説明したが、投影光学系 P L と基板 P との間に液体 L Q を満たさずに露光するドライ露光装置（通常露光装置）についても、本発明に係る空間像計測装置 270（受光器 290）を適用することができる。ドライ露光装置において空間像を計測する際には、投影光学系 P L とスリット板 275 とを対向させた状態で、投影光学系 P L とスリット板 275 との間に液体 L Q を満たさずに、スリット板 275 と受光器 290 の光学素子 276 との間に液体 L Q を満たした状態で（第 1 液浸領域 L A 1 を形成せずに第 2 液浸領域 L A 2 のみを形成した状態で）、投影光学系 P L を介した露光光 E L がスリット板 275 に照射される。受光器 290 の光学素子 276 は、スリット板 275 と光学素子 276 との間に満たされた液体 L Q により開口数 N A を向上されるので、開口数 N A の大きい（例えば $NA > 0.9$ ）投影光学系を備えているドライ露光装置においても光を良好に受光できる。また、例えば受光器 290 の光学素子 276 をスリット板 275 に密接させても投影光学系 P L を通過した光を良好に受光することができ、受光器 290 全体をコンパクト化できるという効果が得られる。

なお、本実施形態では、液体供給装置 300 及び液体回収装置 304 を使って液体 LQ の供給及び回収を行うことで、スリット板 275 と光学素子 276 との間の空間 SP に液体 LQ を満たしているが、液体供給装置 300 及び液体回収装置 304 を使わずに、例えば露光装置 EX の製造時において液体 LQ を空間 SP に満たしておくことも可能である。この場合、例えばスリット板 275 を凸部 283 (Z チルトステージ 252) より外し、空間 SP の液体 LQ を定期的に交換するようにしてもよいし、液体 LQ として保存性に優れた交換不要な液体を用いてもよい。一方で、液体供給装置 300 及び液体回収装置 304 を使って液体 LQ の供給及び回収を行うことで、空間 SP には常に新鮮な (清浄な) 液体 LQ を満たすことが可能である。なお、空間像計測装置 270 の計測中、液体供給装置 300 及び液体回収装置 304 の液体供給動作及び液体回収動作を停止させてもよい。また、例えばスリット板 275 や光学素子 276 を保持した保持部材 285 を凸部 283 (Z チルトステージ 252) から外す際に、液体回収装置 304 で空間 SP の液体 LQ を回収した後に、スリット板 275 や光学素子 276 を保持した保持部材 285 を外すことにより、液体 LQ を漏出することなく着脱作業を行うことができる。

なお、スリット板 275 と受光器 290 (光学素子 276) との間に液体 LQ を満たさずに、スリット板 275 と受光器 290 (光学素子 276) との間に、液体 LQ と略同じ屈折率を有する光透過性部材 (光学部材、ガラス部材) を配置してもよい。そのような光透過性部材としては、例えば石英や蛍石が挙げられる。本実施形態における液体 LQ は純水であって ArF エキシマレーザ光に対する純水の屈折率はほぼ 1.44 と言われている。一方、ArF エキシマレーザ光に対する石英の屈折率はほぼ 1.56 と言われている。したがって、液体 (純水) LQ による第 2 液浸領域 LA2 を形成する代わりに、スリット板 275 と光学素子 276 との間に、石英からなる光透過部材を配置してもよい。

以下、空間像計測装置 270 を用いた空間像計測動作の一例について図 24 等を参照しながら説明する。上述したように、図 24 は空間像を計測している状態

を示す図である。空間像計測時において、マスクMとしては、空間像計測専用のものあるいはデバイスの製造に用いられるデバイス製造用マスクに専用の計測マークを形成したものなどが用いられる。また、これらマスクの代わりに、マスクステージMSTにマスクと同材質のガラス材料からなる固定のマーク板（フィデュシャルマーク板）を設け、このマーク板に計測マークを形成したものをを用いてもよい。

マスクMには、所定の位置にX軸方向に周期性を有するライン部の幅とスペース部の幅との比（デューティ比）が1：1のラインアンドスペース（L/S）マークからなる計測用マークPM_x（図24）と、Y軸方向に周期性を有するデューティ比が1：1のL/Sマークからなる計測マークPM_y（図24）とが相互に近接して形成されている。これら計測マークPM_x、PM_yは同一線幅のラインパターンからなる。また、空間像計測装置270を構成するスリット板275には、図27（a）に示すように、Y軸方向に延びる所定幅2Dのスリット部271_xと、X軸方向に延びる所定幅2Dのスリット部271_yとが、図27（a）に示されるような所定の位置関係で形成されている。このように、スリット板275には、実際には複数のスリット部271_x、271_y等が形成されているが、図20～図26等にはこれらスリット部を代表してスリット部271として図示されている。

例えば、計測マークPM_xの空間像の計測にあたり、制御装置CONTにより、図20に示される可動マスクブラインド207Bが不図示のブラインド駆動装置を介して駆動され、露光光ELの照明領域が計測マークPM_x部分を含む所定領域に制限される。この状態で、制御装置CONTにより光源201の発光が開始され、露光光ELが計測マークPM_xに照射されると、計測マークPM_xによって回折、散乱した光（露光光EL）は、投影光学系PLにより屈折され、投影光学系PLの像面に計測マークPM_xの空間像（投影像）が形成される。このとき、基板ステージPSTは、図27（a）に示すように、スリット板275上のスリ

ット部 271x の +X 側（又は -X 側）に計測マーク PMx の空間像 PMx' が形成される位置に設けられているものとする。

そして、制御装置 CONT の指示のもと、基板ステージ駆動装置 PSTD により、基板ステージ PST が図 27 (a) 中に矢印 Fx で示されるように +X 方向に駆動されると、スリット部 271x が空間像 PMx' に対して X 軸方向に走査される。この走査中に、スリット部 271x を通過する光（露光光 EL）が基板ステージ PST（Z チルトステージ 252）内の受光光学系、基板ステージ PST 外部のミラー 280 及び受光レンズ 281 を介して光センサ 282 で受光され、その光電変換信号が信号処理装置に供給される。信号処理装置では、その光電変換信号に所定の処理を施して、空間像 PMx' に対応する光強度信号を制御装置 CONT に供給する。なおこの際、信号処理装置では、光源 201 からの露光光 EL の発光強度のばらつきによる影響を抑えるために、図 20 に示されるインテグレートセンサ 233 の信号により光センサ 282 からの信号を規格化した信号を制御装置 CONT に供給するようになっている。図 27 (b) には、上記の空間像計測の際に得られる光電変換信号（光強度信号）の一例が示されている。

計測マーク PMy の空間像を計測する場合には、基板ステージ PST を、スリット板 275 上のスリット部 271y の +Y 側（又は -Y 側）に計測マーク PMy の空間像が形成される位置に設けて、上記と同様のスリットスキャン方式による計測を行うことにより、計測マーク PMy の空間像に対応する光電変換信号（光強度信号）を得ることができる。なお、計測マークは、上述のマークに限らず、計測対象の結像特性や計測精度などに応じて適宜定めることができる。

結像特性調整情報などを得るための計測に際しては、図 21 に示すように、まず初期調整の際に、投影光学系 PL の光学素子 264a、264b を 1 つずつ駆動しながら、また第 1、第 2 密閉室 265A、265B の圧力を 1 つずつ変更しながら、投影光学系 PL のフォーカス、及びその他の所定の結像特性（例えば像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差などの諸収差のうちの少

なくとも一つ)を、後述するようにして空間像計測装置270(図20)を用いて測定し、光学素子264a、264bの駆動量、及び第1、第2密閉室265A、265Bにおける圧力変化に対する結像特性変化量を求める。

以下、結像特性の計測動作の一例として、投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出方法について説明する。この場合、前提条件として照明系開口絞り板204の通常絞りが選択され、照明条件として通常照明条件が設定されているものとする。ベストフォーカス位置の検出には、例えば、線幅1 μ m、デューティ比50%のL/Sパターンからなる計測マークPMx(又はPMy)を形成されたマスクMが用いられる。まず、不図示のロード装置によりマスクMがマスクステージMSTにロードされる。次に、制御装置CONTは、マスクM上の計測マークPMxが投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、マスクステージ駆動装置MSTDを介してマスクステージMSTを移動する。次に、制御装置CONTは、露光光ELが計測マークPMx部分のみに照射されるように可動マスクブラインド207Bを駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、制御装置CONTは、マスクMに露光光ELを照射して、前述と同様にして、基板ステージPSTをX軸方向に走査しながら、空間像計測装置270を用いて計測マークPMxの空間像計測をスリットスキャン方式により行う。この際、制御装置CONTは、基板ステージ駆動装置PSTDを介してスリット板275のZ軸方向の位置(すなわち、Zチルトステージ252の位置)を所定のステップピッチで変化させつつ、計測マークPMxの空間像計測を複数回繰り返し、各回の光強度信号(光電変換信号)を記憶装置MRYに記憶する。なお、上記のスリット板275のZ軸方向の位置の変化は、Zチルトステージ252のエンコーダ258A、258B、258Cの計測値に基づき、アクチュエータ259A、259B、259Cを制御することにより行われる。そして、制御装置CONTは、前記繰り返しにより得られた複数の光強度信号(光電変換信号)をそれぞれフーリエ変換し、それぞれの1次周波数成分と0次周波数成分との振幅比であるコントラストを求める。そして、制御装置CONTは、そのコントラストが最大となる光強度信号に対応するZチルトステージ252のZ位置(すなわち、スリット板275

のZ軸方向の位置)を検出し、この位置を投影光学系PLのベストフォーカス位置として決定する。コントラストはフォーカス位置(デフォーカス量)に応じて敏感に変化するので、投影光学系PLのベストフォーカス位置を精度良く且つ容易に計測(決定)することができる。制御装置CONTは、求めたベストフォーカス位置に基づいて、フォーカス検出系245の検出原点(検出基準点)の再設定(校正)であるフォーカスキャリブレーションを行う。これにより、以後、フォーカス検出系245によって基板ステージPST上の所定面(例えば、基板P表面あるいはスリット板275表面)をマスクMの基準面と光学的に共役な位置に位置決めすることができる。

なお、2次以上の高次の実数の周波数成分の振幅は一般に小さく、電気的なノイズ、光学的なノイズに対する振幅が十分に取れない場合もあるが、S/N比(シグナル/ノイズ比)の点で問題がない場合には高次の周波数成分の振幅比の変化を観測してもベストフォーカス位置を求めることができる。なお、上述したコントラストを用いる方法に限らず、光強度信号の微分値が最大となるZ位置(フォーカス位置)を検出する手法によってもベストフォーカス位置の検出が可能である。

また、ここでは投影光学系PLのベストフォーカス位置の計測をする際に、スリット部271(スリット板275)をXY平面内の所定方向にスキャンさせる方法(スリットスキャン方式)について説明したが、孤立線マークなどの計測マークの空間像を投影光学系PLの像面上に形成し、この空間像に対してスリット部271(スリット板275)を光軸AX方向(Z軸方向)に相対走査されるように、スリット板275(Zチルトステージ252)をベストフォーカス位置を中心とする所定ストローク範囲でZ軸方向に沿って走査(スキャン)してもよい。そして、そのときの光強度信号(ピーク値)に基づいてベストフォーカス位置を求める。この場合、像面上において計測マークの空間像が、スリット部271(271x又は271y)の形状とほぼ一致するような寸法、形状となる計測マークを用いることが好ましい。このような空間像計測を行えば、図26に示すよ

うな光強度信号を得ることができる。この場合、この光強度信号の信号波形のピークの位置を直接見つけることにより、その点のZ位置をベストフォーカス位置 Z_0 としてもよく、あるいは光強度信号を所定のスライスレベルラインSLでスライスし、光強度信号とスライスレベルラインSLとの2つの交点の中点のZ位置をベストフォーカス位置 Z_0 としてもよい。いずれにしても、この方法では、スリット板275をZ軸方向に一回走査するだけでベストフォーカス位置を検出可能であるため、スループットを向上できる。

次に、結像特性の計測動作の一例として、投影光学系PLの像面形状（像面湾曲）の検出方法について説明する。この像面湾曲の検出に際しては、一例として図29に示すような、パターン領域PA内に前記計測マーク PM_x と同一寸法同一周期の計測マーク $PM_1 \sim PM_n$ を形成されたマスクM1が用いられる。マスクM1がマスクステージMSTにロードされた後、制御装置CONTは、マスクM1の中央にある計測マーク PM_k が投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、マスクステージ駆動装置MSTDを介してマスクステージMSTを移動する。すなわち、マスクM1の基準点への位置決めが行われる。この基準点への位置決めが行われた場合には、計測マーク $PM_1 \sim PM_n$ の全ては投影光学系PLの視野内に位置しているものとする。次に、制御装置CONTは、露光光ELが計測マーク PM_1 部分のみに照射されるように可動マスクブラインド207Bを駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、制御装置CONTは、露光光ELをマスクM1に照射して、前述と同様にスリットスキャン方式により空間像計測装置270を用いて計測マーク PM_1 の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を記憶装置MRYに記憶する。計測マーク PM_1 を用いたベストフォーカス位置の検出が終了すると、制御装置CONTは、露光光ELが計測マーク PM_2 部分のみに照射されるように可動マスクブラインド207Bを駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、上記と同様にスリットスキャン方式で計測マーク PM_2 の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を記憶装置MRYに記憶する。以後、制御装置CONTは、上記と同様に、照明領域を変更しつつ計測マーク $PM_3 \sim PM_n$ につい

て空間像計測及び投影光学系 PL のベストフォーカス位置の検出を繰り返し行う。そして、制御装置 CONT は、これらにより得られた各ベストフォーカス位置 Z_1 、 Z_2 、…、 Z_n に基づいて所定の統計的処理を行うことにより、投影光学系 PL の像面湾曲を算出する。

また、投影光学系 PL の球面収差を検出する際には、図 30 に示すマスク M2 が用いられる。図 30 に示すマスク M2 のパターン領域 PA 内の Y 軸方向のほぼ中央に、X 軸方向に所定距離隔てて 2 つの計測マーク PM1、PM2 が形成されている。計測マーク PM1 は、前述した計測マーク PMx と同一寸法同一周期の L/S パターンである。また、計測マーク PM2 は、計測マーク PMx と同一寸法のラインパターンが異なる周期（例えば、計測マーク PM1 の周期（マークピッチ）の 1.5～2 倍程度）で X 軸方向に並んだ L/S パターンである。マスク M2 をマスクステージ MST にロードした後、制御装置 CONT は、マスク M2 上の計測マーク PM1 が投影光学系 PL の光軸上にほぼ一致するように、マスクステージ駆動装置 MST D を介してマスクステージ MST を移動する。次に、制御装置 CONT は、露光光 EL が計測マーク PM1 部分のみに照射されるように、可動マスクブラインド 207 B を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、制御装置 CONT は、露光光 EL をマスク M2 に照射して、前述と同様にして、スリットスキャン方式により空間像計測装置 270 を用いて計測マーク PM1 の空間像計測及び投影光学系 PL のベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を記憶装置 MRY に記憶する。計測マーク PM1 を用いたベストフォーカス位置の検出が終了すると、制御装置 CONT は、露光光 EL が計測マーク PM2 に照射されるように、マスクステージ駆動装置 MST D を介してマスクステージ MST を -X 方向に所定距離移動する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測マーク PM2 の空間像計測及び投影光学系 PL のベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を記憶装置 MRY に記憶する。これらより得られた各ベストフォーカス位置 Z_1 と Z_2 との差に基づいて、制御装置 CONT は、投影光学系 PL の球面収差を演算により算出する。

また、投影光学系PLの倍率及びディストーションを検出する際には、図31に示すマスクM3が用いられる。図31に示すマスクM3のパターン領域PAの中心部及び4隅の部分に、合計5つの例えば $120\mu\text{m}$ 角（投影倍率 $1/4$ 倍でスリット板275上で $30\mu\text{m}$ 角）の正方形マークからなる計測マーク $BM_1 \sim BM_5$ が形成されている。マスクM3をマスクステージMSTにロードした後、制御装置CONTは、マスクM3上の中央に存在する計測マーク BM_1 の中心が、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、マスクステージ駆動装置MSTDを介してマスクステージMSTを移動する。すなわち、マスクM3の基準点への位置決めを行う。この基準点への位置決めが行われた状態では、計測マーク $BM_1 \sim BM_5$ の全ては、投影光学系PLの視野内に位置しているものとする。次に、制御装置CONTは、露光光ELが計測マーク BM_1 を含む計測マーク BM_1 より一回り大きい矩形領域部分のみに照射されるように可動マスクブラインド207Bを駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、制御装置CONTは、露光光ELをマスクM3に照射する。これにより、計測マーク BM_1 の空間像、すなわちほぼ $30\mu\text{m}$ 角の正方形のマーク像が形成される。この状態で、制御装置CONTは、基板ステージ駆動装置PSTDを介して基板ステージPSTをX軸方向に走査しながら空間像計測装置270を用いて計測マーク BM_1 の空間像計測を行い、その計測により得られた光強度信号を記憶装置MRYに記憶する。次に、制御装置CONTは、得られた光強度信号に基づき、例えば公知の位相検出の手法あるいはエッジ検出の手法により、計測マーク BM_1 の結像位置を求める。ここで、位相検出の手法としては、例えば、光強度信号をフーリエ変換して得られる1次周波数成分（これは、正弦波とみなせる）とこれと同一周波数の基準となる正弦波との積の例えば1周期分の和を求めるとともに、前記1次周波数成分とこれと同一周期の基準となる余弦波との積の例えば1周期分の和を求める。そして、得られた和どうしを除算して得られた商の逆正弦（アークタンジェント）を求めることにより、1次周波数成分の基準信号に対する位相差を求め、この位相差に基づいて計測マーク BM_1 のX位置 x_1 を求めるという一般的な方法を用いることができる。また、エッジ検出の手法としては、光強度信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて各光電変換信号に対応する空間像のエッジの位置をそれぞれ算

出する、スライス法を用いたエッジ検出の手法を用いることができる。次に、制御装置CONTは、基板ステージPSTをY軸方向に走査しながら空間像計測装置270を用いて計測マークBM₁の空間像計測を行い、その計測により得られた光強度信号を記憶装置MR Yに記憶する。そして、上記と同様の位相検出等の手法により、計測マークBM₁のY位置 y_1 を求める。そして、制御装置CONTは、得られた計測マークBM₁の座標位置(x_1 、 y_1)に基づいて、マスクM3の光軸中心に対する位置ずれを補正する。上記のマスクM3の位置ずれの補正が終了すると、制御装置CONTは、露光光ELが計測マークBM₂を含む計測マークBM₂より一回り大きい矩形領域部分のみに照射されるように可動マスクブラインド207Bを駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測マークBM₂の空間像計測及びXY位置の計測を行い、その結果を記憶装置MR Yに記憶する。以後、制御装置CONTは、照明領域を変更しつつ、計測マークBM₃～BM₅について空間像の計測及びXY位置の計測を繰り返し行う。これにより得られた計測マークBM₂～BM₅の座標値(x_2 、 y_2)、(x_3 、 y_3)、(x_4 、 y_4)、(x_5 、 y_5)に基づいて、所定の演算を行うことにより、制御装置CONTは投影光学系PLの倍率及びディストーションの少なくとも一方を算出する。

以上、一例として投影光学系PLのベストフォーカス位置、像面湾曲、球面収差、倍率、及びディストーションを空間像計測装置270を用いて計測する手順について説明した。なお、所定の計測マークを使って、空間像計測装置270は、例えばコマ収差等の他の結像特性に関しても計測可能である。

このように、投影光学系PLの結像特性をスリットスキャン方式で計測する際には、投影光学系PLを介した光(露光光EL)に対してスリット板275(スリット部271)を相対的に移動しながら、液体LQを介して受光器290(光学素子276)に光が照射される。

制御装置CONTは、上記計測した投影光学系PLの結像特性情報に基づいて、所望の結像特性を得るための補正量、具体的には投影光学系PLの光学素子264a、264bの駆動量及び第1、第2密閉室265A、265Bの内部圧力の調整量を求める。ここで、記憶装置MRYには、例えば実験あるいはシミュレーション等によって予め求められている、投影光学系PLの光学素子264a、264bの駆動量及び第1、第2密閉室265A、265Bの内部圧力の調整量と、投影光学系PLの各種結像特性の変化量（変動量）との関係（すなわち結像特性調整情報）が記憶されている。制御装置CONTは、記憶装置MRYに記憶されている上記関係を参照し、投影光学系PLの結像特性を所望状態に補正するための、投影光学系PLの光学素子264a、264bの駆動量及び第1、第2密閉室265A、265Bの内部圧力の調整量を含む補正量を求める。なお、空間像計測の詳細は、例えば特開2002-14005号公報（対応米国特許公開2002/0041377）に開示されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、それらの開示を援用して本文の記載の一部とする。

以下、露光装置EXを用いてデバイス製造用パターンを基板Pに露光する手順について説明する。

図20に示すように、空間像計測装置270による投影光学系PL及び液体LQを介した結像特性の計測、及び前記結像特性を補正するための補正量の導出を行った後、制御装置CONTは、投影光学系PLと基板ステージPST上にロードされた基板Pとを対向させるように基板ステージ駆動装置PSTDを介して基板ステージPSTを駆動する。なおこのとき、マスクステージMSTにはデバイス製造用パターンが形成されたマスクMがロードされている。そして、制御装置CONTは、液体供給機構210の液体供給部211を駆動し、供給管212及び供給ノズル213を介して単位時間あたり所定量の液体LQを基板P上に供給する。また、制御装置CONTは、液体供給機構210による液体LQの供給に伴って液体回収機構220の液体回収部（真空系）221を駆動し、回収ノズル

223及び回収管222を介して単位時間あたり所定量の液体LQを回収する。これにより、投影光学系PLの先端部の光学素子260と基板Pとの間に液体LQの液浸領域AR2が形成される。

そして、制御装置CONTは、照明光学系ILによりマスクMを露光光ELで照明し、マスクMのパターンの像を投影光学系PL及び液体LQを介して基板Pに投影する。ここで、基板Pに対する露光処理を行う際には、制御装置CONTは、上記求めた補正量に基づいて、投影光学系PLの光学素子264a、264bを駆動したり、第1、第2密閉室265A、265Bの内部圧力を調整し、投影光学系PL及び液体LQを介した結像特性を調整しながら露光処理を行う(図21)。

走査露光時には、投影領域AR1にマスクMの一部のパターン像が投影され、投影光学系PLに対して、マスクMが-X方向(又は+X方向)に速度Vで移動するのに同期して、基板ステージPSTを介して基板Pが+X方向(又は-X方向)に速度 $\beta \cdot V$ (β は投影倍率)で移動する。そして、1つのショット領域への露光終了後に、基板Pのステッピングによって次のショット領域が走査開始位置に移動し、以下、ステップ・アンド・スキャン方式で各ショット領域に対する露光処理が順次行われる。本実施形態では、基板Pの移動方向と平行に、基板Pの移動方向と同一方向に液体LQを流すように設定されている。つまり、矢印Xa(図22参照)で示す走査方向(-X方向)に基板Pを移動させて走査露光を行う場合には、供給管212、供給ノズル213A~213C、回収管222、及び回収ノズル223A、223Bを用いて、液体供給機構210及び液体回収機構220による液体LQの供給及び回収が行われる。すなわち、基板Pが-X方向に移動する際には、供給ノズル213(213A~213C)より液体LQが投影光学系PLと基板Pとの間に供給されるとともに、回収ノズル223(223A、223B)より基板P上の液体LQが回収され、投影光学系PLの先端部の光学素子260と基板Pとの間を満たすように-X方向に液体LQが流れる。一方、矢印Xb(図22参照)で示す走査方向(+X方向)に基板Pを移動させ

て走査露光を行う場合には、供給管 215、供給ノズル 216A～216C、回収管 225、及び回収ノズル 226A、226Bを用いて、液体供給機構 210 及び液体回収機構 220 による液体 LQ の供給及び回収が行われる。すなわち、基板 P が +X 方向に移動する際には、供給ノズル 216 (216A～216C) より液体 LQ が投影光学系 PL と基板 P との間に供給されるとともに、回収ノズル 226 (226A、226B) より基板 P 上の液体 LQ が回収され、投影光学系 PL の先端部の光学素子 260 と基板 P との間を満たすように +X 方向に液体 LQ が流れる。この場合、例えば供給ノズル 213 を介して供給される液体 LQ は基板 P の -X 方向への移動に伴って光学素子 260 と基板 P との間に引き込まれるようにして流れるので、液体供給機構 210 (液体供給部 211) の供給エネルギーが小さくても液体 LQ を光学素子 260 と基板 P との間に容易に供給できる。そして、走査方向に応じて液体 LQ を流す方向を切り替えることにより、+X 方向、又は -X 方向のどちらの方向に基板 P を走査する場合にも、光学素子 260 と基板 P との間を液体 LQ で満たすことができ、高い解像度及び広い焦点深度を得ることができる。

なお、上記実施形態においては、空間像計測装置 270 による計測動作中に、液体供給機構 210 の液体供給及び液体回収機構 220 による液体回収を行って、投影光学系 PL の光学素子 260 とスリット板 275 との間で液体 LQ が流れるようにしているが、光の照射による液体 LQ の温度変化や液体 LQ の劣化が少ない場合には、計測前に液体供給機構 210 で液体 LQ を供給し、計測動作中には、液体供給機構 210 による液体供給及び液体回収機構 220 による液体回収のいずれの動作も停止し、計測動作終了後に、液体回収機構 220 による液体 LQ の回収を行うようにしてもよい。

〔第 12 実施形態〕

以下、本発明の第 12 実施形態について説明する。以下の説明において上述した第 11 実施形態と同一又は同等の構成部分については同一の符号を付し、その説明を簡略もしくは省略する。

図32は空間像計測装置270の別の実施形態を示す図である。図32において、空間像計測装置270の受光器290うち、光センサ282がスリット板275に最も近い位置に配置され、その光センサ282とスリット板275との間の空間SPに液体LQが満たされている。光センサ282は保持部材285で保持されている。光センサ282の受光面282Aと保持部材285の内底面285Aとは面一となっている。このような構成によっても、光センサ282は、投影光学系PL、第1液浸領域LA1、スリット板275、及び第2液浸領域LA2を通過した光を良好に受光することができる。

〔第13実施形態〕

図33に空間像計測装置270の別の実施形態を示す。図33に示すように光センサ282の受光面282Aは、スリット板275の下面に密接している。すなわち図33に示す例においては、第2液浸領域LA2は形成されていない。このように、受光器290の光センサ282をスリット板275に接するように配置することで、投影光学系PLとスリット板275との間に液体LQを満たして投影光学系PLの開口数NAを実質的に向上させた場合においても、受光器290（受光素子282）は投影光学系PLを介した光を良好に受光することができる。

なお、光センサ282をスリット板275に接する構成の場合、スリット板275（ガラス板部材274）は、第1液浸領域LA1の液体LQの重みで撓まない程度に極力薄いことが好ましい。更には、受光センサ282の受光面282Aをガラス板部材274より上方に露出させる構成も可能である。一方、受光面282Aを露出させずに光センサ282の受光面282Aの上にスリット板275（ガラス板部材274）を設けることにより、平坦領域が大きくなるので、第1液浸領域LA1を良好に形成することができる。

なお、光センサ 282 をスリット板 275 の下面に接合するために接着剤を用いることができる。この場合、接着剤は、露光光に対して高い透過率を有し、スリット部（光透過部）271 を通過した露光光が光センサ 282 の受光面 282A に入射できるような屈折率を有するものが望ましい。

また、図 33 の実施形態においては、スリット板 275 の下面に光センサ 282 を密接させる構成となっているが、スリット板 275（ガラス板部材 274）の下面に受光素子をパターンニングするようにしてもよい。

〔第 14 実施形態〕

上述したように、投影光学系 PL の結像特性をスリットスキャン方式で計測する際には、投影光学系 PL を介した光（露光光 EL）に対してスリット板 275（スリット部 271）を相対的に移動しながら、液体 LQ を介して受光器 290（光学素子 276）に光が照射される。この場合、スリット板 275 の移動によって、受光器 290 による受光動作中に、投影光学系 PL とスリット板 275 との間の第 1 液浸領域 LA1 の液体 LQ を介して投影光学系 PL（先端部の光学素子 260）を振動させてしまったり、あるいはその液体 LQ の力によってスリット板 275 が撓んだり変動して空間像計測精度を低下させる不都合が生じる可能性がある。

そこで、本実施形態では、図 34 に示すように、スリット板 275 の所定位置に貫通穴 320 を設けている。こうすることにより、投影光学系 PL に対してスリット板 275 が移動しても、投影光学系 PL とスリット板 275 との間の第 1 液浸領域 LA1 の液体 LQ は、貫通穴 320 を介して空間 SP に逃げるできるので、スリット板 275 が移動しても、投影光学系 PL とスリット板 275 との間の第 1 液浸領域 LA1 の液体 LQ の圧力と、スリット板 275 と受光器 290（光学素子 276）との間の第 2 液浸領域 LA2 の液体 LQ の圧力との差が生じず、スリット板 275 が撓む等の不都合は生じない。スリット板 275 が移動したとき、第 1 液浸領域 LA1 の液体 LQ は横方向（スリット板 275 の面方

向)にも移動するが、貫通穴320を設けて上下方向にも移動可能とすることにより、スリット板275が撓む等の不都合の発生をより一層防止することができる。また、貫通穴320を介して液体LQが第1液浸領域LA1と第2液浸領域LA2との間を移動可能であるので、投影光学系PLとスリット板275との間の第1液浸領域LA1の液体LQの大きな圧力変動も生じないため、そのスリット板275の移動に伴う液体LQの圧力変動によって投影光学系PLを変動(振動)させる不都合の発生を防止することができる。

図35は、図34のスリット板275の平面図である。図35に示すように、貫通穴320は複数、本実施形態では4つ設けられている。これら複数(4つ)の貫通穴320は、スリット板275のスリット部271を挟んで対向する位置にそれぞれ設けられている。貫通穴320は、投影光学系PLとスリット板275との間に満たされた液体LQの第1液浸領域LA1の内側に設けられている。これにより、スリット板275が移動した際にも第1液浸領域LA1の液体LQは貫通穴320を介して空間SPに逃げることができる。そして、貫通穴320は、スリット板275の略中央部に設けられたスリット部271を挟んで対向するように形成され、スリット板275の中心に対して点対称な位置にそれぞれ形成されているため、スリット板275の面精度(平面度)を維持することができる。

なお、貫通穴320は4つに限らず任意の複数設けられてもよいし、1つであってもよい。また、図35に示すように本実施形態では、貫通穴320はスリット部271を囲むように等間隔に設けられているが不等間隔であってもよい。また、スリット部271(の中心)と複数の貫通穴320のそれぞれとの距離は同じであっても異なってもよい。

ところで、スリット板275に貫通穴320を設けた場合において、第2液浸領域LA2を形成するために空間SPに液体LQを満たす場合、図25等を参照して説明した液体供給装置300及び液体回収装置304を使う構成の他に、液

体供給機構 210 を使って、貫通穴 320 を介して、スリット板 275 と受光器 290（光学素子 276）との間の空間 SP に液体 LQ を供給するようにしてもよい。また、液体回収機構 220 を使って、貫通穴 320 を介して、スリット板 275 と受光器 290（光学素子 276）との間の空間 SP の液体 LQ を回収するようにしてもよい。すなわち、露光処理時に投影光学系 PL と基板 P との間に液体 LQ を供給可能な液体供給機構 210 及び投影光学系 PL と基板 P との間の液体 LQ を回収可能な液体回収機構 220 を使って、スリット板 275 と受光器 290（光学素子 276）との間の第 2 液浸領域 LA2 を形成するようにしてもよい。

液体供給機構 210 を使って第 2 液浸領域 LA2 を形成する際、図 36（a）に示すように、液体供給機構 210 は供給ノズル 213 から貫通穴 320 を介して空間 SP に液体 LQ を供給する。また、スリット板 275 上の液体 LQ（空間 SP から貫通穴 320 を介して溢れ出た液体 LQ も含む）は、液体回収機構 220 の回収ノズル 223 から回収される。こうして、図 36（b）に示すように、液体供給機構 210 及び液体回収機構 220 を使って、第 1 液浸領域 LA1 及び第 2 液浸領域 LA2 のそれぞれが形成される。

受光器 290 が投影光学系 PL を介した光（露光光 EL）を液体 LQ 及びスリット板 275 を介して受光した後、液体回収機構 220 はスリット板 275 上の第 1 液浸領域 LA1 の液体 LQ を回収する。その後、露光処理のために基板ステージ PST が移動し、投影光学系 PL と基板 P とを対向させるが、このとき、図 36（c）に示すように、スリット板 275 は投影光学系 PL の下から退避される。そして、投影光学系 PL の下から退避されたスリット板 275 の貫通穴 320 には蓋部材 322 が被せられる。本実施形態において、蓋部材 322 はスリット板 275 全体を覆うことで、貫通穴 320 を閉じる。なおこの蓋部材 322 は、蓋機構を構成するアーム 322A によってスリット板 275 上に被せられる。そして、蓋部材 322 で貫通穴 320 を閉じた状態で、基板 P に対する露光処理が行われる。基板 P に対する露光処理中においては基板ステージ PST が移動する

が、その基板ステージP S Tの移動に伴って、空間S Pの液体L Qが貫通穴3 2 0を介して外部に漏洩（飛散）する可能性がある。そこで、少なくとも基板Pに対する露光処理中には、蓋部材3 2 2で貫通穴3 2 0を塞ぐことにより、空間S Pの液体L Qが貫通穴3 2 0を介して外部に漏洩する不都合を防止することができる。また、空間S Pの液体L Qが気化して露光装置E Xのおかれている環境を変化させる不都合も防止できる。なお、受光器2 9 0を使って液体L Qを介して光を検出する際には、アーム3 2 2 Aが蓋部材3 2 2をスリット板3 2 2上から取り外した後、図3 6（a）、（b）に示したように、液体供給機構2 1 0及び液体回収機構2 2 0を使って第1、第2液浸領域L A 1、L A 2が形成される。なお、蓋機構としては上記説明した形態に限られず、例えばスリット板2 7 5あるいは凸部2 8 3の所定位置にヒンジ部を介して蓋部材を取り付け、アクチュエータを使って、受光器2 9 0による計測処理中には蓋部材を開け、基板Pに対する露光処理中には蓋部材を閉じるといった構成も可能である。

〔第1 5実施形態〕

スリット板2 7 5と受光器2 9 0との間の空間S P内部と外部とを連通する穴部（連通路）としては、スリット板2 7 5に設けられた貫通穴3 2 0の他に、図3 7に示すように、第1液浸領域L A 1の外側に設けられた第2貫通穴を形成しても良い。図3 7は第2貫通穴3 3 0を設けた例を示す断面図、図3 8は平面図である。図3 7及び図3 8において、Zチルトステージ2 5 2の上面であって凸部2 8 3の周囲には、この凸部2 8 3を囲むように周壁部3 3 2が設けられている。また、周壁部3 3 2の上部には蓋部材3 3 4が設けられており、凸部2 8 3、周壁部3 3 2、及び蓋部材3 3 4によって、バッファ空間部3 3 6が形成されている。そして、凸部2 8 3及び保持部材2 8 5の壁部の所定位置には、空間S Pとバッファ空間部3 3 6とを接続する第2貫通穴3 3 0が形成されている。本実施形態において、第2貫通穴3 3 0は図3 8に示すように、空間S Pの周囲に所定間隔で複数（ここでは8つ）設けられている。なお、第2貫通穴3 3 0の数及び配置は任意に設定可能である。第2貫通穴3 3 0を設けたことにより、スリット板2 7 5が移動して第1液浸領域A R 1の体積が変化しても、第1液浸領域L

A 1 に貫通穴 3 2 0 を介して接続する第 2 液浸領域 L A 2 の液体 L Q は、第 2 貫通穴 3 3 0 を介してバッファ空間部 3 3 0 に逃げるることができる。したがって、第 1 液浸領域 L A 1 の圧力変動等といった不都合をより一層防止することができる。

図 3 7 及び 3 8 に示した実施形態の変形例として、図 3 9 に示すように、第 2 貫通穴 3 3 0 をスリット板 2 7 5 に設けてもよい。第 2 貫通穴 3 3 0 は第 1 液浸領域 L A 1 の外側に設けられている。図 4 0 は図 3 9 のスリット板 2 7 5 の平面図である。図 4 0 に示すように、第 2 貫通穴 3 3 0 は複数、本実施形態では 8 つ設けられている。そして、これら複数（8 つ）の第 2 貫通穴 3 3 0 は、スリット板 2 7 5 のスリット部 2 7 1 を挟んで対向する位置にそれぞれ設けられている。これにより、スリット板 2 7 5 が移動した際に第 1 液浸領域 L A 1 の液体 L Q が貫通穴 3 2 0 を介して空間 S P に逃げたとき、その空間 S P の液体 L Q は第 2 貫通穴 3 3 0 を介して外部に逃げるることができる。

スリット部 2 7 5 に形成された第 2 貫通穴 3 3 0 から液体 L Q が溢れ出たとき、その液体 L Q はスリット板 2 7 5（凸部 2 8 3）の外側に流出するが、Z チルトステージ 2 5 2 上においてスリット板 2 7 5 が設けられた凸部 2 8 3 の周囲には、第 2 貫通穴 3 3 0 から流出した液体 L Q を回収する回収機構 3 4 0 が設けられている。回収機構 3 4 0 は、Z チルトステージ 2 5 2 上において凸部 2 8 3 の周囲に設けられた溝部 3 4 1 と、溝部 3 4 1 に配置され液体 L Q を保持可能な多孔質セラミックスやスポンジ状部材からなる多孔質部材 3 4 2 と、溝部 3 4 1 に流路 3 4 3 を介して接続された液体収容部であるタンク 3 4 4 と、タンク 3 4 4 に流路 3 4 6 を介して接続された真空ポンプ等からなる真空系 3 4 5 とを備えている。また、流路 3 4 6 にはこの流路 3 4 6 を開閉するバルブ 3 4 6 A が設けられており、タンク 3 4 4 には排出流路 3 4 4 A が接続されている。第 2 貫通穴 3 3 0 から凸部 2 8 3 の周囲に流出した液体 L Q は、溝部 3 4 1 に配置されている多孔質部材 3 4 2 に保持される。回収機構 3 4 0 は、バルブ 3 4 6 A を作動して流路 3 4 6 を開放した状態で真空系 3 4 5 を駆動することにより、溝部 3 4 1（多孔質

部材 3 4 2) の液体 L Q をその周囲の気体とともに吸い込むようにして回収する。回収された液体 L Q はタンク 3 4 4 に集められる。タンク 3 4 4 に液体 L Q が溜まったとき、排出流路 3 4 4 A より排出される。このとき液体 L Q はタンク 3 4 4 の下方に集められるため、真空系 3 4 5 には液体 L Q は流入しない。つまり、タンク 3 4 4 で、溝部 3 4 1 から回収された液体 L Q とその周囲の気体とが気液分離される。回収機構 3 4 0 を設けたことにより、Z チルトステージ 2 5 2 上に第 2 貫通穴 3 3 0 や第 1 液浸領域 L A 1 から流出した液体 L Q が残存する不都合を防止できる。

なお、貫通穴 3 2 0 (あるいは第 2 貫通穴 3 3 0) に、その貫通穴 3 2 0 の大きさを変える可変機構を設けてもよい。例えば、空間像計測中には、貫通穴 3 2 0 (あるいは第 2 貫通穴 3 3 0) を大きくすることにより、貫通穴 3 2 0 を通過する際の液体 L Q の粘性抵抗を低下することができ、液体 L Q は円滑に移動できる。また、貫通穴 3 2 0 を大きくすることで、図 3 6 を参照して説明したように、貫通穴 3 2 0 を介して空間 S P に液体 L Q を注入しやすくなる。そして、空間像計測以外の時 (具体的には露光動作時) においては、可変機構で貫通穴 3 2 0 (あるいは第 2 貫通穴 3 3 0) を小さくしたりあるいは塞ぐことにより、空間 S P の液体 L Q が気化して露光装置 E X のおかれている環境を変化させたり、あるいは基板ステージ P S T の移動に伴って液体 L Q が空間 S P から外部に流出する不都合の発生を防止できる。

〔第 1 6 実施形態〕

ところで、上記第 1 1 ~ 1 5 実施形態の各実施形態では、スリット板 2 7 5 上の一部の領域に局所的に第 1 液浸領域 L A 1 を形成する構成であるが、図 4 1 に示すように、スリット板 2 7 5 全体を液体 L Q に浸けるようにしてもよい。図 4 1 において、Z チルトステージ 2 5 2 上には桶部材 3 5 0 が設けられており、スリット板 2 7 5 は、桶部材 3 5 0 の底部 3 5 0 B 上に取り付けられた支持部材 3 5 1 で支持されている。また、スリット板 2 7 5 の下方 (光路下流側) には保持部材 2 8 5 に保持された光学素子 2 7 6 が配置されている。保持部材 2 8 5 も桶

部材 3 5 0 の底部 3 5 0 B に取り付けられている。支持部材 3 5 1 には、スリット板 2 7 5 と光学素子 2 7 6 との間の空間 S P 内部と外部とを連通する第 2 貫通穴 3 3 0 が設けられている。桶部材 3 5 0 の開口部 3 5 0 A 上端は、スリット板 2 7 5、液体供給ノズル 2 1 3 の供給口 2 1 3 A、及び液体回収ノズル 2 2 3 の回収口 2 2 3 A より高い位置にある。

第 1 液浸領域 L A 1 及び第 2 液浸領域 L A 2 を形成する際には、投影光学系 P L と桶部材 3 5 0 内部のスリット板 2 7 5 とを対向させた後、液体供給機構 2 1 0 が駆動され、供給ノズル 2 1 3 から桶部材 3 5 0 内部に液体 L Q が供給される。桶部材 3 5 0 内部に供給された液体 L Q は、投影光学系 P L の先端部の光学素子 2 6 0 とスリット板 2 7 5 との間に満たされて第 1 液浸領域 L A 1 を形成するとともに、貫通穴 3 2 0 や第 2 貫通穴 3 3 0 を介してスリット板 2 7 5 と光学素子 2 7 6 との間の空間 S P に満たされて第 2 液浸領域 L A 2 を形成する。また、これと並行して、液体回収機構 2 2 0 を駆動し回収ノズル 2 2 3 から桶部材 3 5 0 内部の液体 L Q を回収することにより、桶部材 3 5 0 内部には所定量の液体 L Q が満たされることになる。

上記第 1 1 ～ 1 6 実施形態では、光学部材（スリット板） 2 7 5 及び受光器 2 9 0 を、投影光学系 P L の結像特性を計測する空間像計測装置 2 7 0 に適用した例について説明したが、図 4 2 に示すように、基板ステージ P S T 上には、空間像計測装置 2 7 0 の他に、投影光学系 P L を介した光照射量情報を計測する例えば特開平 1 1 - 1 6 8 1 6 号公報（対応米国特許公開 2 0 0 2 / 0 0 6 1 4 6 9）に開示されているような照射量センサ（照度センサ） 3 6 0 や、例えば特開昭 5 7 - 1 1 7 2 3 8 号公報（対応米国特許 4, 4 6 5, 3 6 8）及び U S P 6, 0 0 2, 4 6 7 に開示されているような照度ムラセンサ 3 7 0 等も設けられている。これら照射量センサ 3 6 0 や照度ムラセンサ 3 7 0 に対しても本発明を適用可能である。なお、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、これら特許公報の開示を援用して本文の記載の一部とする。

図43は、照射量センサ360の模式図である。照射量センサ360は、投影光学系PLの像面側に照射される露光光の照射量（照度）を計測するものであって、Zチルトステージ252上に設けられた上板363と、その上板363を通過した光を受光する光センサ364とを備えている。上板363は、ガラス板部材362と、そのガラス板部材362の上面に設けられた光透過量調整膜361とを備えている。光透過量調整膜361は例えばクロム膜によって構成されており、所定の光透過率を有し、ガラス板部材362の上面全域に設けられている。光透過量調整膜361を設けて光センサ364に入射する光量を減光することにより、過剰な光量の光が照射されることに起因する光センサ364に対するダメージや飽和といった不都合を防止している。なお照射量センサ360では、例えばマスクMが交換されたとき等の所定のタイミングで計測動作が行われる。

そして、照射量センサ360で投影光学系PLを通過した露光光ELの照射量を計測する際には、上述した実施形態同様、投影光学系PLと上板363とを対向した状態で投影光学系PLと上板363との間に液体LQを供給して第1液浸領域LA1を形成するとともに、上板363と光センサ364との間に液体LQを供給して第2液浸領域LA2を形成し、投影光学系PLと第1液浸領域LA1の液体LQとを介して上板363に露光光ELを照射する。なお、上板363と光センサ364との間に光学系（光学素子）を配置してもよく、その場合、第2液浸領域LA2は上板363とその上板363に最も近い位置に配置された光学素子との間に形成される。また、上板363に光センサ364を密接してもよい。

本実施形態で説明したように照射量センサに第2液浸領域LA2を設けることは、前述の第6～第8実施形態に示した照射量センサに適用しても良い。

図44は、照度ムラセンサ370の模式図である。照度ムラセンサ370は、投影光学系PLを介して像面側に照射される露光光の照度（強度）を複数の位置で計測して、投影光学系PLの像面側に照射される露光光の照度ムラ（照度分布）を計測するものであって、Zチルトステージ252上に設けられた上板37

4と、その上板374に設けられたピンホール部371を通過した光を受光する光センサ375とを備えている。上板374は、ガラス板部材373の表面にクロムなどの遮光性材料を含む薄膜372を設け、その薄膜372をパターンニングしてその中央部にピンホール部371を設けたものである。

照度ムラセンサ370で照度分布の計測を行う場合、投影光学系PLと照度ムラセンサ370の上板374とを対向させた状態で、その投影光学系PLと上板374との間を液体LQで満たすとともに、上板374と光センサ375との間も液体LQで満たす。そして、露光光ELが照射される照射領域（投影領域）内の複数の位置で順次ピンホール部371を移動させる。なお、上板374と光センサ375との間に光学系（光学素子）を配置してもよく、その場合、第2液浸領域LA2は上板374とその上板374に最も近い位置に配置された光学素子との間に形成される。また、上板374と光センサ375とを密接してもよい。

本実施形態で説明したように照射ムラセンサに第2液浸領域LA2を設けることは、前述の第2～第5実施形態及び第9～第10実施形態に示した照射ムラセンサに適用しても良い。さらに、第11～16実施形態で説明した空間像計測装置に第1～10実施形態のセンサで採用した構造を、第11～16実施形態で説明した空間像計測装置の内部構造に代えて、あるいはそれに加えて採用してもよい。また、図42に示す、空間像計測装置270、照射量センサ360、照度ムラセンサ370のいずれかに一つに上記実施形態で説明した構造を採用しても良く、あるいはそれらのいずれか二つまたは全てに上記実施形態で説明した構造を採用しても良い。

更に本発明は、例えば特開平11-238680号公報や特開2000-97616号公報、米国特許公開2004/0090606に開示されている、基板ステージPST（Zステージ51）に対して脱着可能なセンサにも適用できる。また、米国特許6,650,399に開示されているような波面収差を計測するセンサにも本発明を適用できる。なお、本国際出願で指定または選択された国の

法令で許容される限りにおいて、これら特許公報の開示を援用して本文の記載の一部とする。

上記第11～16の各実施形態において、上述したノズルの形状は特に限定されるものでなく、例えば投影領域AR1の長辺について2対のノズルで液体LQの供給又は回収を行うようにしてもよい。なお、この場合には、+X方向、又は-X方向のどちらの方向からも液体LQの供給及び回収を行うことができるようにするため、供給ノズルと回収ノズルと上下に並べて配置してもよい。すなわち、投影光学系PLの光学素子260と基板Pとの間を十分な液体LQで満たし続けることができる各種の形態を採用することができる。また、基板Pの移動方向に応じて液体LQの供給位置や回収位置を必ずしも変更する必要はなく、所定の位置から液体LQの供給及び回収を継続してもよい。

本発明の各実施形態においては、光源1として、ArFエキシマレーザ光源を使用しているため、液体LQとして純水を用いている。純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できるとともに、ウェハW（基板P）上のフォトリソトや光学素子（レンズ）等に対する悪影響がない利点がある。また、純水は環境に対する悪影響がないとともに、不純物の含有率が極めて低いため、ウェハW（基板P）表面、及び投影光学系PLの先端面に設けられている光学素子の表面を洗浄する作用も期待できる。また、工場の純水はそのレベル（純水度）が低いことも考えられるので、その場合には露光装置自身が超純水化機構を持つようにしても良い。

波長が193nm程度の露光光に対する純水（水）の屈折率 n はほぼ1.44程度と言われており、露光光の光源としてArFエキシマレーザ光（波長193nm）を用いた場合、ウェハW（基板P）上では $1/n$ 、即ち約134nm程度に短波長化されて高い解像度が得られる。更に、焦点深度は空気中に比べて約 n 倍、即ち約1.44倍程度に拡大されるため、空気中で使用する場合と同程度の

焦点深度が確保できればよい場合には、投影光学系 PL の開口数をより増加させることができ、この点でも解像度が向上する。

尚、液浸露光に用いる光源 1 として KrF エキシマレーザ光源や F₂ レーザ光源を用いることもできる。F₂ レーザ光源を用いる場合、液浸露光用の液体（第 2 液浸領域に用いる液体も含む）としては F₂ レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル（PFPE）等のフッ素系の液体を用いればよい。また、その他にも、露光光に対する透過性があるだけ屈折率が高く、投影光学系 PL やウェハ W（基板 P）表面に塗布されているフォトレジストに対して安定なもの（例えばセダー油）を用いることも可能である。前述のように、第 1 液浸領域に用いる液体と第 2 液浸領域に用いる液体を目的に応じて使い分けても良い。

また、上述の液浸法を適用した露光装置は、投影光学系 PL の終端光学部材の射出側の光路空間を液体（純水）で満たしてウェハ W（基板 P）を露光する構成になっているが、国際公開第 2004/019128 号に開示されているように、投影光学系の終端光学部材の入射側の光路空間も液体（純水）で満たすようにしてもよい。この場合、投影光学系 PL が 1.0 以上の大きな開口数を有していても、終端光学部材として無屈折力の平行平板や屈折力の非常に小さいレンズを採用することができる。

尚、液浸法を用いた場合には、投影光学系の開口数 NA が 0.9 ~ 1.7 になることもある。このように投影光学系の開口数 NA が大きくなる場合には、従来から露光光として用いられているランダム偏光光では偏光効果によって結像特性が悪化することもあるので、偏光照明を用いるのが望ましい。その場合、マスク（レチクル）のライン・アンド・スペースパターンのラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明を行い、マスク（レチクル）のパターンからは、S 偏光成分（ラインパターンの長手方向に沿った偏光方向成分）の回折光が多く射出されるようにするとよい。

投影光学系と基板表面に塗布されたレジストとの間が液体で満たされている場合、投影光学系と基板表面に塗布されたレジストとの間が空気（気体）で満たされている場合に比べて、コントラストの向上に寄与するS偏光成分の回折光のレジスト表面での透過率が高くなるため、投影光学系の開口数NAが1.0を超えるような場合でも高い結像性能を得ることができる。また、位相シフトマスクや特開平6-188169号公報に開示されているようなラインパターンの長手方向に合わせた斜入射照明法（特に、ダイポール照明法）等を適宜組み合わせるとより効果的である。

また、マスク（レチクル）のラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明（S偏光照明）だけでなく、特開平6-53120号公報に開示されているように、光軸を中心とした円の接線（周）方向に直線偏光する偏光照明法と斜入射照明法との組み合わせも効果的である。特に、マスク（レチクル）のパターンが所定の一方方向に延びるラインパターンだけでなく、複数の異なる方向に延びるラインパターンが混在する場合には、同じく特開平6-53120号公報に開示されているように、光軸を中心とした円の接線方向に直線偏光する偏光照明法と輪帯照明法とを併用することによって、投影光学系の開口数NAが大きい場合でも高い結像性能を得ることができる。

また、上述の実施形態においては、投影光学系PLとウェハW（基板P）との間を局所的に液体で満たす露光装置を採用しているが、露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置や、ステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する液浸露光装置にも本発明を適用可能である。露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平6-124873号公報に詳細に記載されており、また、ステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する液浸露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平10-303114号公報や米国特許5,825,043に詳細に記載されており、それぞれ本国際出願で指

定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、これらの文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。

また、本発明は、ウェハ等の被処理基板を別々に載置してX Y方向に独立に移動可能な2つのステージを備えたツインステージ型の露光装置にも適用できる。ツインステージ型の露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平10-163099号及び特開平10-214783号（対応米国特許6,341,007、6,400,441、6,549,269及び6,590,634）、特表2000-505958号（対応米国特許5,969,441）あるいは米国特許6,208,407に開示されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、それらの開示を援用して本文の記載の一部とする。

また、本発明は、特開平11-135400号に開示されているように、ウェハ等の被処理基板を保持して移動可能な露光ステージと、各種の計測部材やセンサを備えた計測ステージとを備えた露光装置にも適用することができる。この場合、上述の第1～16の各実施形態で説明した複数のセンサ（計測装置）のうちの少なくとも一部を計測ステージに搭載することができる。

また更に、上記実施形態では露光光源1として、ArFエキシマレーザ光源の場合を例に挙げて説明したが、これ以外に露光光源1としては、例えばg線（波長436nm）、i線（波長365nm）を射出する超高圧水銀ランプ、又はKrFエキシマレーザ（波長248nm）、F₂レーザ（波長157nm）、Kr₂レーザ（波長146nm）、YAGレーザの高周波発生装置、若しくは半導体レーザの高周波発生装置を用いることができる。

更に、光源としてDFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。例えば、単一波長レ

ーザの発振波長を $1.51 \sim 1.59 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $189 \sim 199 \text{ nm}$ の範囲内である8倍高調波、又は発生波長が $151 \sim 159 \text{ nm}$ の範囲内である10倍高調波が出力される。

また、発振波長を $1.03 \sim 1.12 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $147 \sim 160 \text{ nm}$ の範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を $1.099 \sim 1.106 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157 \sim 158 \mu\text{m}$ の範囲内の7倍高調波、即ち F_2 レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合、単一波長発振レーザとしては例えばイットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いることができる。

また、上記実施形態では上記照明光学系IS内に設けられる光学素子の硝材、投影光学系PLを構成する屈折部材の硝材、平凸レンズ41, 45, 52, 57, 62, 71等の硝材としては蛍石（フッ化カルシウム： CaF_2 ）を用いる場合を例に挙げて説明した。しかしながら、これらは、露光光の波長に応じて、フッ化マグネシウム（ MgF_2 ）等のフッ化物結晶又はこれらの混晶、又フッ素や水素等の物質をドープした石英硝子等の真空紫外光を透過する光学材料から選択される。尚、所定の物質をドープした石英硝子は、露光光の波長が 150 nm 程度より短くなると透過率が低下するため、波長が 150 nm 程度以下の真空紫外光を露光光として用いる場合には、光学素子の光学材料としては、蛍石（フッ化カルシウム）、フッ化マグネシウム等のフッ化物結晶又はこれらの混晶が使用される。

また、上記第1～第10実施形態では、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置を、また、第11～第16実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置を例に挙げてそれぞれ説明したが、本発明はいずれの方式の露光装置にも適用することができる。また、本発明は基板（ウェハ）上で少なくとも2つのパターンを部分的に重ねて転写するステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置にも適用できる。更に、本発明は半導体素子の製造に用いられる露光装置だけではなく、液晶表示素子（LCD）等を含むディスプレイの製造に用いられて

デバイスパターンをガラスプレート上へ転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられてデバイスパターンをセラミックウェハ上へ転写する露光装置、及びＣＣＤ等の撮像素子の製造に用いられる露光装置等にも適用することができる。更には、光露光装置、ＥＵＶ露光装置、Ｘ線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウェハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、ＤＵＶ（遠紫外）光やＶＵＶ（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドーブされた石英ガラス、蛍石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキシミティ方式のＸ線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウェハなどが用いられる。なお、このような露光装置は、ＷＯ ９ ９／３ ４ ２ ５ ５号、ＷＯ ９ ９／５ ０ ７ １ ２号、ＷＯ ９ ９／６ ６ ３ ７ ０号、特開平 １ １－１ ９ ４ ４ ７ ９号、特開 ２ ０ ０ ０－１ ２ ４ ５ ３号、特開 ２ ０ ０ ０－２ ９ ２ ０ ２号等に開示されている。

なお、上記各実施形態の基板Ｐとしては、半導体デバイス製造用の半導体ウェハのみならず、ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウェハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版（合成石英、シリコンウェハ）等が適用される。

基板ステージＰＳＴ（ウェハステージ１５）やマスクステージＭＳＴ（レチクルステージ１３）にリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージＰＳＴ（１５）、ＭＳＴ（１３）は、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。ステージにリニアモータを用いた例は、米国特許 ５，６２３，８５３及び ５，５２８，１１８に開示されており、それぞれ本国際出願で指定または選択さ

れた国の法令で許容される限りにおいて、これらの文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。

各ステージPST (15)、MST (13) の駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニットと、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージPST (15)、MST (13) を駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージPST (15)、MST (13) に接続し、磁石ユニットと電機子ユニットとの他方をステージPST (15)、MST (13) の移動面側に設ければよい。

基板ステージPST (ウェハステージ15) の移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がしてもよい。この反力の処理方法は、例えば、米国特許5,528,118 (特開平8-166475号公報) に詳細に開示されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、この文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。

マスクステージMST (レチクルステージ13) の移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がしてもよい。この反力の処理方法は、例えば、米国特許第5,874,820 (特開平8-330224号公報) に詳細に開示されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、この文献の開示を援用して本文の記載の一部とする。

上記実施形態の露光装置EXは、本願請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種

機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は、温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

次に、本発明の実施形態による露光装置及び露光方法をリソグラフィ工程で利用したマイクロデバイスの製造方法の実施形態について説明する。図18は、マイクロデバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造工程の一例を示すフローチャートである。図18に示すように、まず、ステップS20（設計ステップ）において、マイクロデバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップS21（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスク（レチクル）を製作する。一方、ステップS22（ウェハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。

次に、ステップS23（ウェハ処理ステップ）において、ステップS20～ステップS22で用意したマスクとウェハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウェハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップS24（デバイス組立ステップ）において、ステップS23で処理されたウェハを用いてデバイス組立を行う。このステップS24には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。最後に、ステップS25（検査ステップ）において、ステップS24で作製されたマイクロデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にマイクロデバイスが完成し、これが出荷される。

図19は、半導体デバイスの場合における、図18のステップS23の詳細なフローの一例を示す図である。図19において、ステップS31（酸化ステップ）においてはウェハの表面を酸化させる。ステップS32（CVDステップ）においてはウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップS33（電極形成ステップ）においてはウェハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップS34（イオン打込みステップ）においてはウェハにイオンを打ち込む。以上のステップS31～ステップS34のそれぞれは、ウェハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウェハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップS35（レジスト形成ステップ）において、ウェハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップS36（露光ステップ）において、上で説明したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法によってマスクの回路パターンをウェハに転写する。次に、ステップS37（現像ステップ）においては露光されたウェハを現像し、ステップS38（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップS39（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウェハ上に多重に回路パターンが形成される。

産業上の利用可能性

本発明によれば、像面側に液体が供給されることで所期の性能を有する液浸用の投影光学系を介した露光光を、投影光学系の像面側に液体を供給しない状態で受光するようにしたので、水の状態の影響を受けることなく精度良く計測することができる。

例えば、投影光学系の端面に入射する露光光束の角度（最外の光線と光軸とがなす角度）を調整（小さく）することで液体が無い状態でも投影光学系を通過した露光光を受光することができる。

また、本発明によれば、投影光学系からの露光光のうち、光透過部を透過した光は気体中を通過せずに集光部材に入射して集光されるため、投影光学系の開口数の増大により大きな入射角を有する露光光が光透過部に入射しても光透過部を通過した露光光を確実に受光することができる。

更に、本発明によれば、投影光学系からの露光光を液体を介して板状部材に入射させ、板状部材に入射した光のうち光透過部を通過した光を受光するようにしており、投影光学系と対向しない他方面に光透過部を形成しているので、投影光学系と対向する一方面を平坦化でき、その板状部材の一方面への泡の付着や投影光学系と板状部材との間の液体の乱れ等を防止することができる。また、板状部材に光透過部としての開口（孔）を設けることもないので、液体の浸入も防止できる。

また更に、本発明によれば、計測結果に応じて最適化した条件の下でマスクのパターンを基板上に露光転写することで、マスクに形成された微細なパターンを基板上に精確に転写することができる。この結果、高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

また、本発明によれば、投影光学系と液体とを通過した露光光のうち、光透過部を透過した光は計測手段に設けられた光学系によって気体中を通過しないよう導かれて受光器に入射するため、投影光学系の開口数の増大により大きな入射角を有する露光光が光透過部に入射しても光透過部を通過した露光光を確実に受光することができる。

本発明によれば、投影光学系を介した光を受光器によって良好に受光できるので、その受光結果に基づいて最適な露光条件を設定した状態で精度良い露光処理を行うことができる。

請求の範囲

1. 露光光を液体を介して基板上に照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系の像面側に設けられた光透過部及び、前記投影光学系を通過した露光光を該光透過部を介して受光する受光器を有する計測装置を備え；

前記計測装置の受光器が、前記投影光学系と前記光透過部との間に液体が存在しない状態で、前記光透過部及び投影光学系を通過した露光光を受光する露光装置。

2. 前記計測装置の受光器で前記光透過部及び前記投影光学系を通過した露光光を受光する際に、前記投影光学系の端面に入射する露光光の入射角は、該端面から投影光学系と前記光透過部との間の空間へ該露光光が出射するように調整されている請求項 1 に記載の露光装置。

3. さらに、露光光を前記投影光学系に導く照明系を備え、前記露光光の入射角の調整は、前記照明系内の、前記投影光学系の瞳面と共役な面内における前記露光光の光束分布を調整することによって行われる請求項 2 に記載の露光装置。

4. 前記露光光の角度調整は、前記照明系のコヒーレンスファクタ σ を調整することによって行われる請求項 2 に記載の露光装置。

5. 前記投影光学系の開口数 NA は 1 以上であって、前記照明系のコヒーレンスファクタ σ は 0.05～0.50 である請求項 4 に記載の露光装置。

6. 前記計測装置は、前記光透過部からの光を受光器に入射させるための光学部材を有し、前記光学部材は、前記光透過部からの光が気体中を通過しないように前記光透過部の近傍に配置されている請求項 1 に記載の露光装置。

7. 前記計測装置は、板状部材を有し、前記板状部材の一面が前記投影光学系に対向するように配置され、他面の一部に前記光透過部が形成されている請求項1に記載の露光装置。

8. 露光光を基板上に照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系の像面側に配置され、前記投影光学系からの露光光が入射する光透過部、受光器、及び該光透過部からの光を受光器に入射させるための集光部材を有する計測装置を備え；

前記投影光学系からの露光光が気体中を通過せずに前記集光部材に入射するように、前記集光部材は、前記光透過部と前記受光器との間に配置されている露光装置。

9. 前記投影光学系を通過した露光光は、液体を介して、前記計測装置の光透過部に入射する請求項8に記載の露光装置。

10. 前記集光部材は、前記投影光学系に対向する平坦部を有し、前記光透過部は、前記平坦部に形成されている請求項8に記載の露光装置。

11. 前記計測装置は、前記光透過部を有する板状部材を有し、前記集光部材は前記板状部材に密接している請求項8に記載の露光装置。

12. 前記板状部材は、一面が前記投影光学系に対向するように配置され、他面の一部に前記光透過部が形成され、さらに他面に前記集光部材が密接している請求項11に記載の露光装置。

13. 液体を介して露光光を基板上に照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系に対向するように一面が配置され且つ他面の一部に光透過部が形成された板状部材及び、前記光透過部からの光を受光する受光器を有する計測装置とを備え；

前記計測装置の受光器は、露光光を、前記投影光学系と前記板状部材との間にもたらされた液体を介して受光する露光装置。

14. 露光光を液体を介して基板上に照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系の像面側に設けられ且つ前記投影光学系からの露光光が液体を介して入射する光透過部、受光器及び該光透過部からの光を該受光器に入射させるための光学系を有する計測装置とを備え；

前記光透過部からの光が気体中を通過せずに前記光学系に入射するように、前記光学系は前記光透過部と前記受光器との間に配置されている露光装置。

15. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部からの光を集光して前記受光器に入射させる集光部材を含む請求項14に記載の露光装置。

16. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部からの光を波面分割して各々を集光することにより前記受光器に入射させる波面分割素子を含む請求項15に記載の露光装置。

17. 前記集光部材は、マイクロレンズアレイ素子を含む請求項15または16に記載の露光装置。

18. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部からの光を屈折作用を利用して前記受光器に入射させる請求項14に記載の露光装置。
19. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部からの光を拡散させて前記受光器に入射させる拡散部材を含む請求項14に記載の露光装置。
20. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部からの光を導波して前記受光器に入射させる導波部材を含む請求項14に記載の露光装置。
21. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部からの光の反射作用を利用して前記受光器に入射させる請求項14に記載の露光装置。
22. 前記計測装置の光学系は、オプティカルインテグレータを含む請求項21に記載の露光装置。
23. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部からの光を回折作用により前記受光器に入射させる回折素子を含む請求項14に記載の露光装置。
24. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部から入射した光の射出面に所定の光学加工が施された光学部材を含む請求項14に記載の露光装置。
25. 前記計測装置の光学系は、前記光透過部から前記受光器に入射する光の波長を変換する波長変換部材を含む請求項14に記載の露光装置。
26. 前記計測装置の光学系は、蛍光部材を含む請求項14に記載の露光装置。
27. 前記計測装置の光学系は、複数の光学素子を含み、その複数の光学素子のうち前記光透過部に最も近い光学素子が前記光透過部に近接して配置されている請求項14に記載の露光装置。

28. 前記投影光学系の開口数 NA は 1 以上である請求項 14 に記載の露光装置。

29. 前記投影光学系の像面側で移動可能なステージをさらに備え、
前記光透過部は、前記ステージに配置されている請求項 8、13、14 のいずれか一項に記載の露光装置。

30. 前記ステージは、前記基板を保持可能である請求項 29 に記載の露光装置。

31. 前記投影光学系と前記光透過部との間を液体で満たすための液体供給機構をさらに備えた請求項 29 に記載の露光装置。

32. 前記液体供給機構は、前記基板を露光するために前記投影光学系と前記基板との間を液体で満たす請求項 31 に記載の露光装置。

33. 基板に液体を介して露光光を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系の像面側に配置された光透過部を有する光学部材と；

当該光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光する受光器を備え；

前記受光器と前記光学部材との間に液体が満たされている露光装置。

34. 前記投影光学系と前記光学部材との間に液体を満たした状態で、前記受光器が投影光学系と液体を通過した光を受光する請求項 33 に記載の露光装置。

35. 基板に露光光を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系の像面側に配置された光透過部を有する光学部材と；

当該光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光する受光器を備え；

前記受光器と前記光学部材との間に液体が満たされている露光装置。

36. 前記受光器は、前記光学部材に最も近い位置に配置された光学素子と、前記光学素子を通過した光を受光する受光素子とを有し、前記光学素子と前記光学部材との間に液体が満たされている請求項33または35に記載の露光装置。

37. 前記受光器は、受光素子を有し、前記受光素子と前記光学部材との間に液体が満たされている請求項33または35に記載の露光装置。

38. 前記光学部材と前記受光器との間に液体を供給する液体供給装置を有する請求項33または35に記載の露光装置。

39. 前記光学部材と前記受光器との間の液体を回収する液体回収装置を有する請求項33または35に記載の露光装置。

40. 前記光学部材と前記受光器との間の空間内部と外部とを連通する連通路を有する請求項33または35に記載の露光装置。

41. 前記連通路は、前記光学部材の所定位置に形成された第1貫通穴を含むことを特徴とする請求項40に記載の露光装置。

42. 前記第1貫通穴は、前記光学部材の前記光透過部を挟んで対向する位置に形成された複数の穴を含む請求項41に記載の露光装置。

43. 前記第1貫通穴は、前記投影光学系と前記光学部材との間に満たされた液体の液浸領域の内側に設けられている請求項41に記載の露光装置。

44. 前記連通路は、前記投影光学系と前記光学部材との間に満たされた液体の液浸領域の外側に形成された第2貫通穴を含む請求項40に記載の露光装置。

45. 前記露光処理時に前記投影光学系と前記基板との間に液体を供給可能な液体供給機構を備え、前記液体供給機構は、前記連通路を介して前記光学部材と前記受光器との間の空間に液体を供給する請求項40に記載の露光装置。

46. 前記露光処理時に前記投影光学系と前記基板との間の液体を回収可能な液体回収機構を備え、前記液体回収機構は、前記連通路を介して前記光学部材と前記受光器との間の空間の液体を回収する請求項40に記載の露光装置。

47. 基板に液体を介して露光光を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系の像面側に配置された光透過部を有する光学部材と；

前記光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光し且つ光学部材に接して設けられた受光素子とを有する受光器を備える露光装置。

48. 前記投影光学系と前記光学部材との間に液体を満たした状態で、前記受光器が投影光学系と液体を通過した光を受光する請求項47に記載の露光装置。

49. 前記投影光学系を介した光に対して前記光透過部が相対的に移動されながら、前記受光器が光を受光する請求項33、35及び47のいずれか一項に記載の露光装置。

50. 基板に、液体とを介して露光光を照射することによって前記基板を露光する露光装置であって：

投影光学系と；

前記投影光学系の像面側に配置された光透過部を有し且つ所定位置に貫通穴が形成されている光学部材と；

前記光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光する受光器を備える露光装置。

51. 前記貫通穴は、前記光学部材の前記光透過部を挟んで対向する位置に形成された複数の穴を含む請求項50に記載の露光装置。

52. 前記光学部材と前記受光器との間に液体が満たされている請求項50に記載の露光装置。

53. 前記投影光学系と前記光学部材との間に液体が満たされた状態で、前記受光器が光を受光する請求項50に記載の露光装置。

54. 前記貫通穴は、前記投影光学系と前記光学部材との間に満たされた液体の液浸領域の内側に設けられている請求項50に記載の露光装置。

55. 前記投影光学系と前記光学部材との間に満たされた液体の液浸領域の外側に、前記光学部材と前記受光器との間の空間内部と外部とを連通する連通路が設けられていることを特徴とする請求項50に記載の露光装置。

56. 前記光学部材が前記投影光学系に対して相対的に移動されながら、前記液体を介して前記受光器が光を受光する請求項33、35及び50のいずれか一項に記載の露光装置。

57. 前記連通路から流出する液体を回収する回収機構を有する請求項44または51に記載の露光装置。

58. 前記連通路を開閉する蓋機構を有する請求項41または50に記載の露光装置。

59. 前記蓋機構は、少なくとも前記基板に対する露光処理中に前記貫通穴を閉じる請求項58に記載の露光装置。

60. 前記基板を保持して移動可能な基板保持部材を備え、前記受光器は、前記基板保持部材に設けられていることを特徴とする請求項1、8、13、14、33、35、47及び50のいずれか一項に記載の露光装置。

61. 前記受光器は前記光透過部を介した光を受光し、該受光結果に基づいて前記投影光学系の結像特性を計測することを特徴とする請求項1、8、13、14、33、35、47及び50のいずれか一項に記載の露光装置。

62. 前記受光器は前記光透過部を介した光を受光し、該受光結果に基づいて前記投影光学系を介した光照射量情報を計測することを特徴とする請求項1、8、13、14、33、35、47及び50のいずれか一項に記載の露光装置。

63. 前記受光器は、該露光装置に対して着脱可能であることを特徴とする請求項1、8、13、14、33、35、47及び50のいずれか一項に記載の露光装置。

64. 請求項1、8、13、14、33、35、47及び50のいずれか一項に記載の露光装置を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

65. 前記光学部材は、前記投影光学系の像面側で投影光学系に最も近い位置に設置された光学部材である請求項47または50に記載の露光装置。

66. さらに、基板を保持して移動する基板ステージを備え、前記光学部材の光透過部が基板ステージ表面とほぼ同じ高さ位置に設けられている請求項47または50に記載の露光装置。

67. 露光光を投影光学系と液体を介して基板上に照射することによって前記基板を露光する露光方法であって：

前記投影光学系の光射出端の側に、露光光を計測する計測装置を設置するステップと；

前記投影光学系の光射出端側の光路空間に液体を介在させずに計測装置で露光光を計測するステップと；

前記計測結果に基づいて、前記光路空間に液体を介在させて基板を露光するステップを含み；

前記投影光学系の光射出端と前記光路空間との界面に投影光学系内から入射する露光光の入射角が、前記計測ステップと前記露光ステップで異なる露光方法。

68. 前記計測ステップにおける前記投影光学系の光射出端と前記空間との界面に投影光学系内から入射する露光光の入射角が、前記露光ステップにおけるそれよりも小さい請求項67に記載の露光方法。

69. さらに、前記露光光の入射角を、前記投影光学系の瞳面と共役な面内における前記露光光の光束分布を調整することを含む請求項67に記載の露光方法。

70. 前記露光光の角度は、投影光学系の光入射端の側に設けられた照明系のコヒーレンスファクタ σ を調整することによって行われる請求項69に記載の露光方法。

71. 前記計測結果に基づいて投影光学系の結像特性または露光光を調整することを更に含む請求項70に記載の露光方法。

7 2. 露光光を投影光学系を介して基板上に照射することによって前記基板を露光する露光方法であって：

前記投影光学系から射出された露光光を受光器で受光することと；

露光光を投影光学系と液体とを介して基板上に照射することによって前記基板を露光することを含む露光方法。

7 3. 前記投影光学系と前記受光器との間に、集光部材と光透過部を配置し、光透過部と投影光学系との間に液体が存在している請求項 7 2 に記載の露光方法。

7 4. 前記光透過部が板状部材に形成されており、前記集光部材は前記板状部材に密接されている請求項 7 3 に記載の露光方法。

7 5. 前記受光器の受光信号に基づいて、露光光を調整することを含む請求項 7 2 に記載の露光方法。

7 6. 前記受光器の受光信号に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整することを含む請求項 7 2 に記載の露光方法。

7 7. 露光光を投影光学系を介して基板上に照射することによって前記基板を露光する露光方法であって：

前記投影光学系の像面側に配置された光透過部を有する光学部材を介して前記投影光学系を通過した光を受光器で受光することと；

露光光を、投影光学系を介して基板上に照射することによって前記基板を露光することを含む；

前記受光器と前記光学部材との間に液体が満たされている露光方法。

7 8. 基板を露光する際に、基板と投影光学系との間に液体が存在している請求項 7 7 に記載の露光方法。

79. 前記受光器の受光信号に基づいて、露光光を調整する請求項77に記載の露光方法。

80. 前記受光器の受光信号に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する請求項77に記載の露光方法。

81. 前記受光器が、照射むらセンサ、照射量センサ及び空間像計測装置の一つである請求項77に記載の露光方法。

Fig. 1

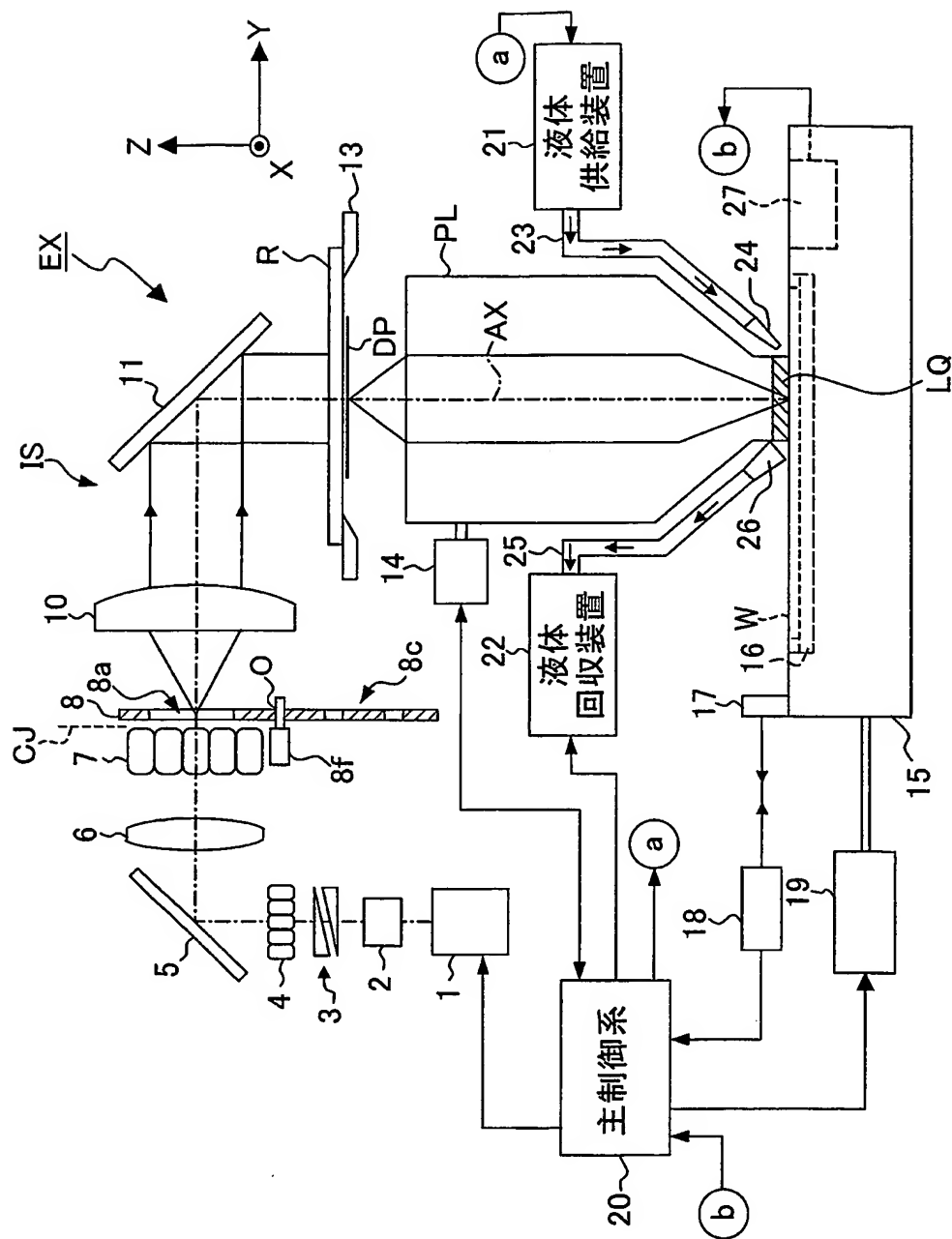


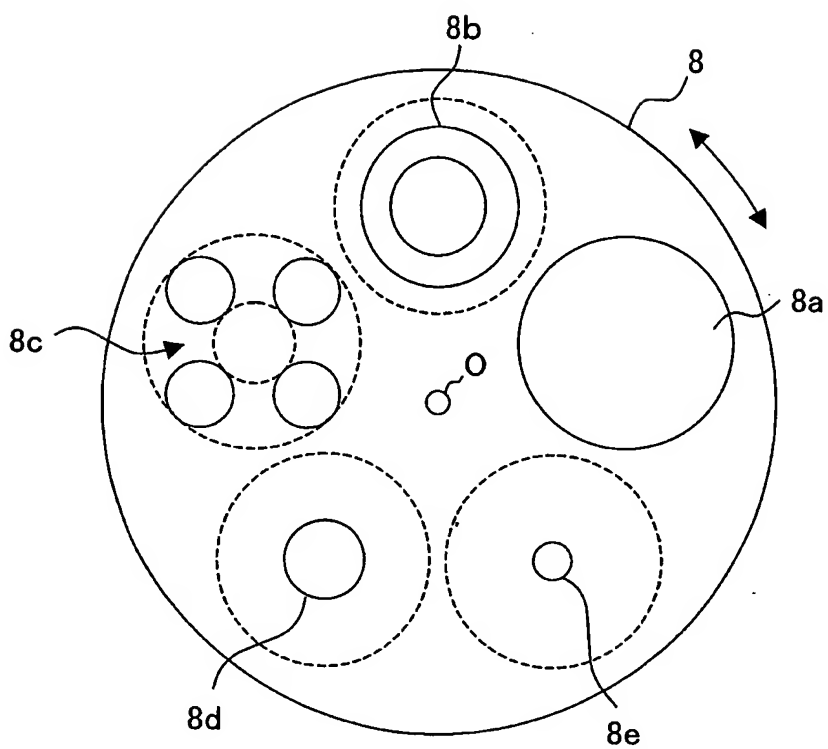
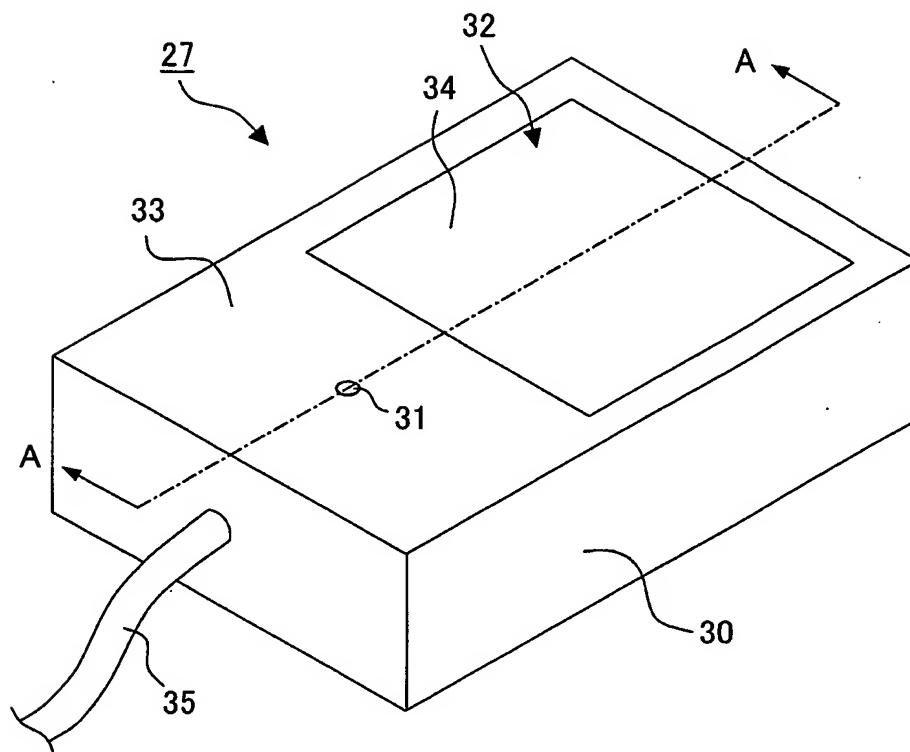
Fig. 2

Fig. 3

(a)



(b)

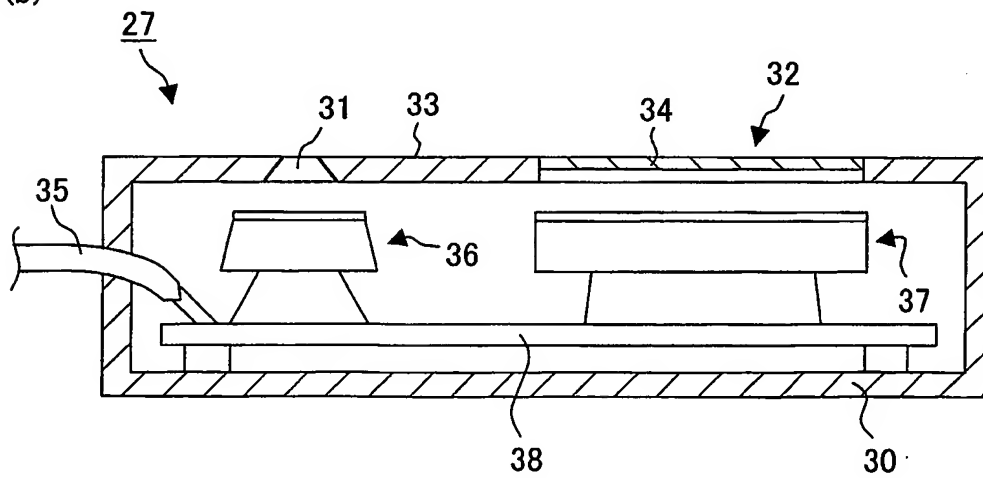


Fig. 4

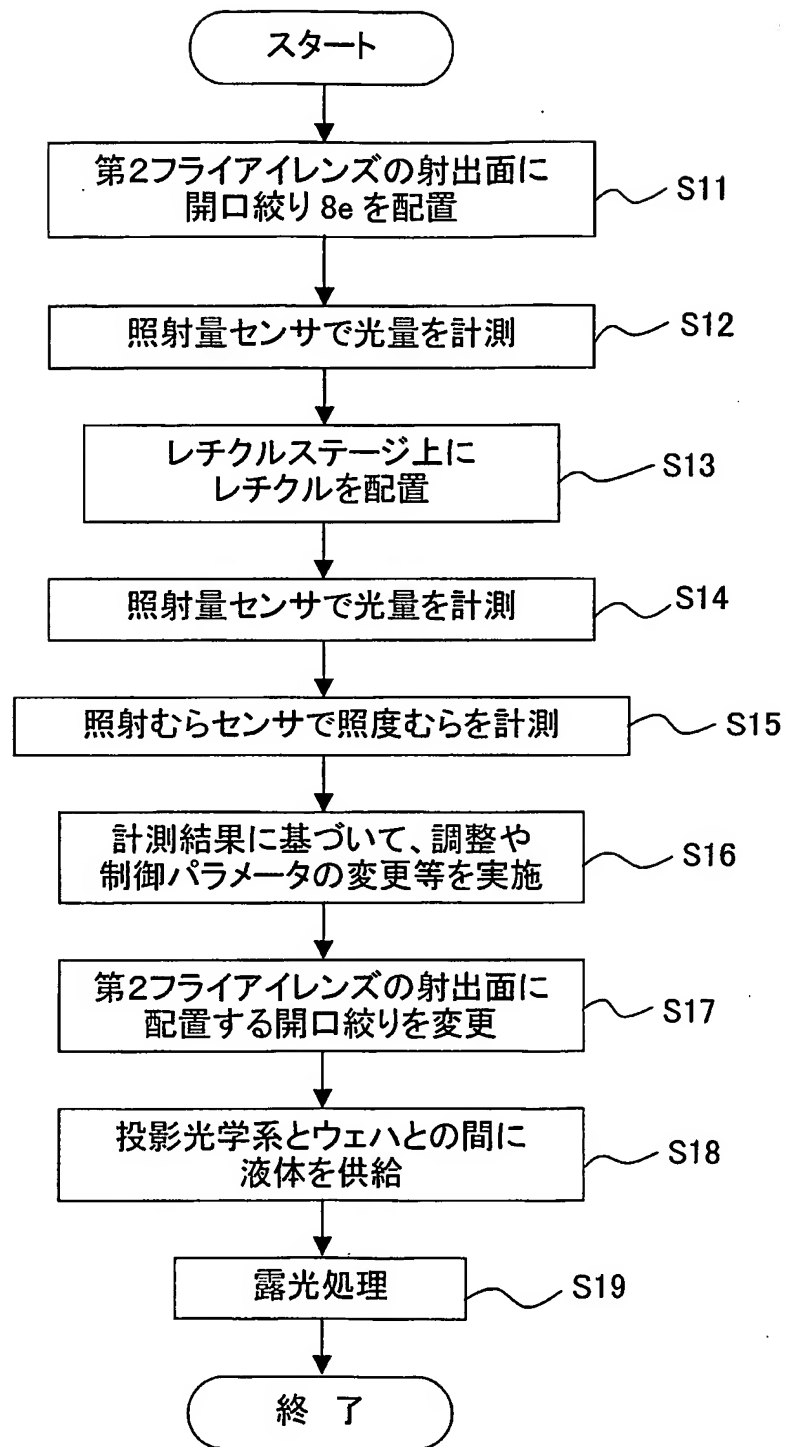
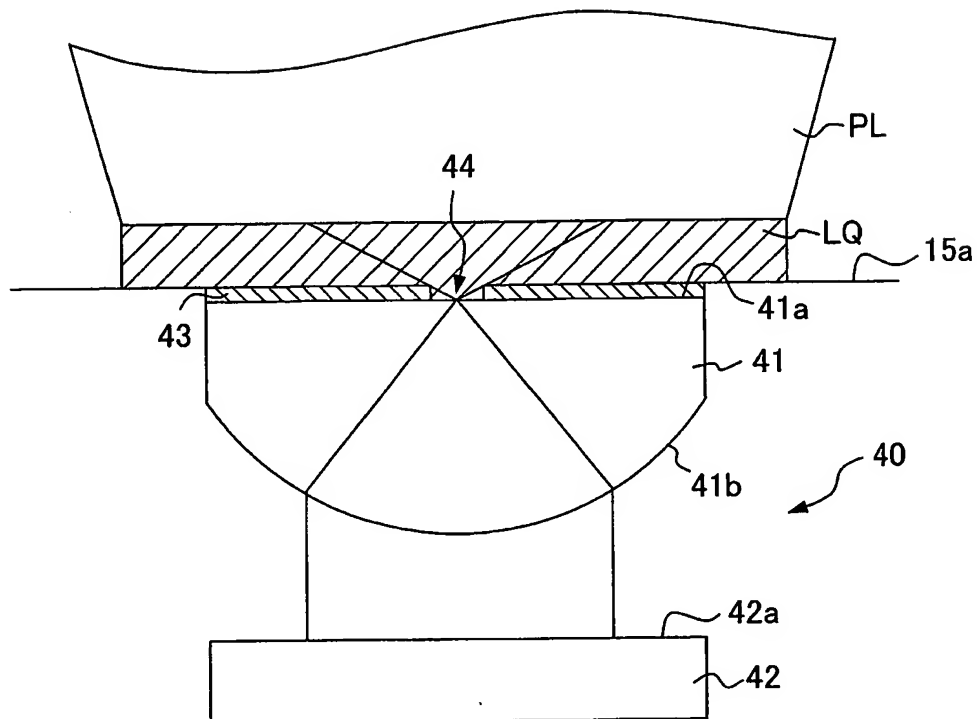


Fig. 5

(a)



(b)

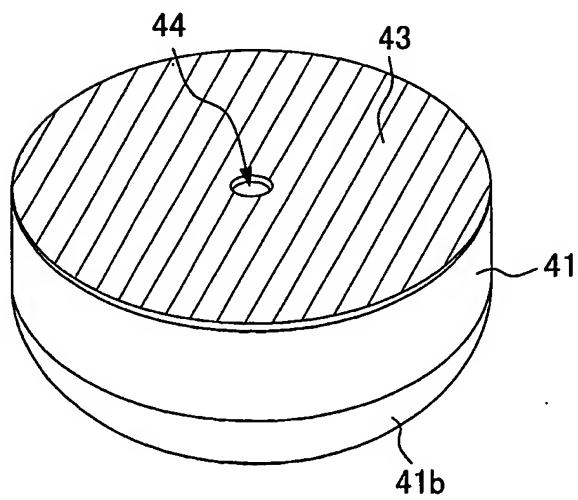
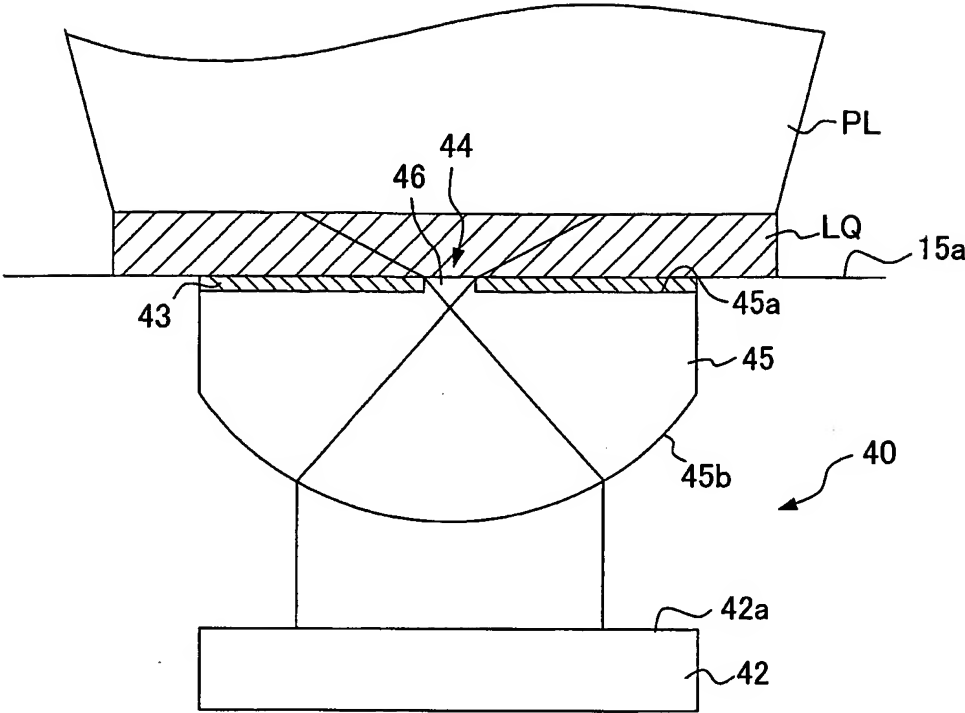


Fig. 6

(a)



(b)

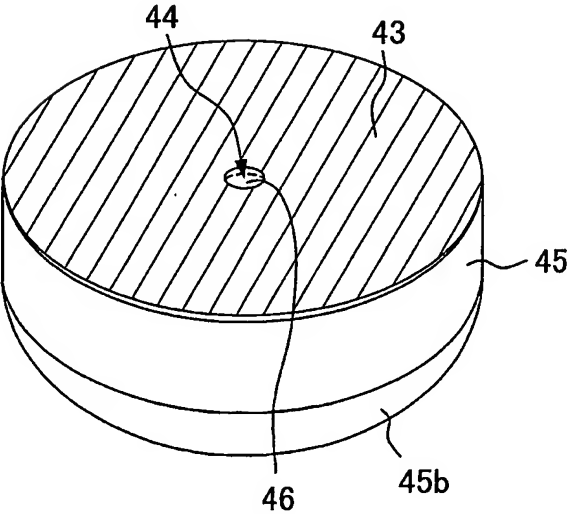
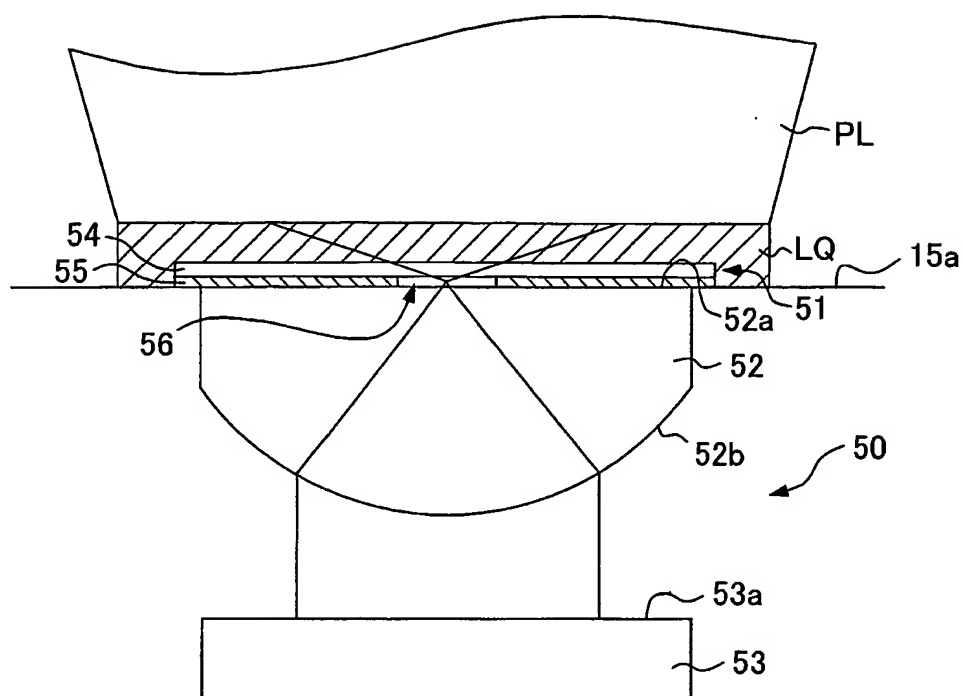


Fig. 7

(a)



(b)

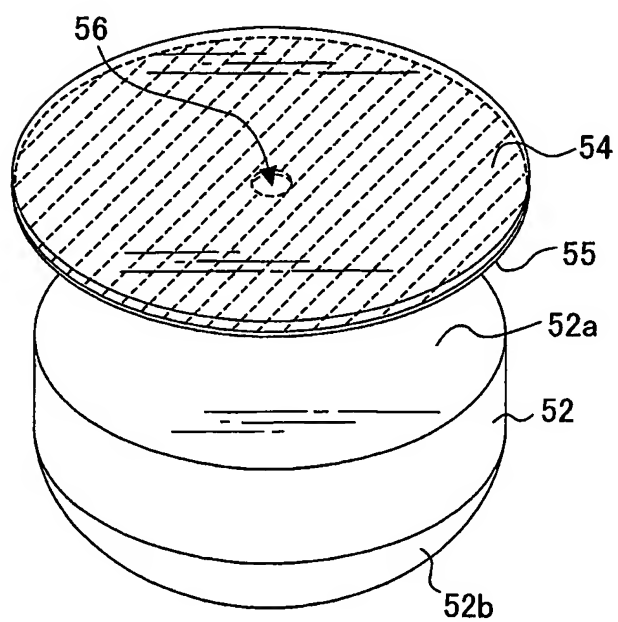


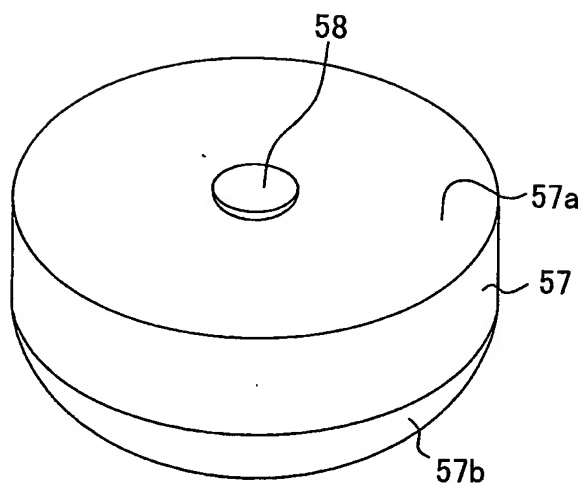
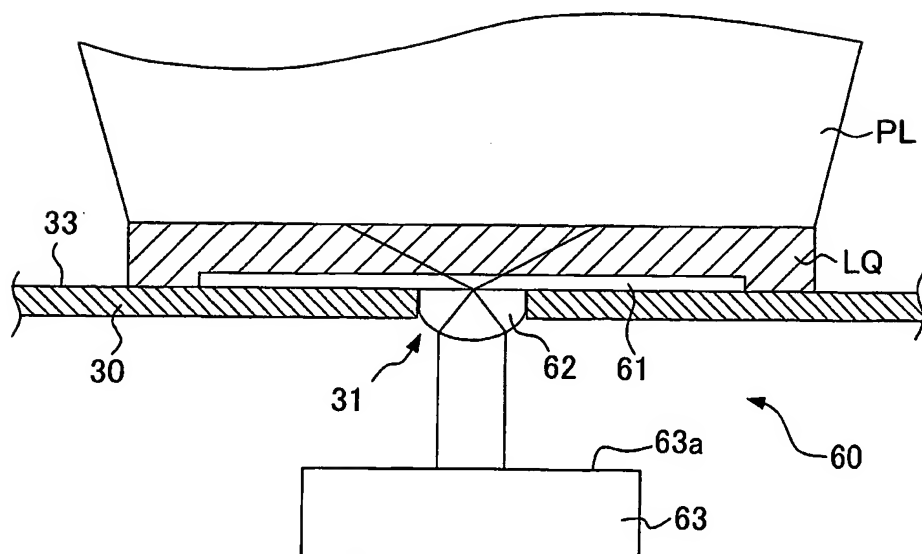
Fig. 8**Fig. 9**

Fig. 10

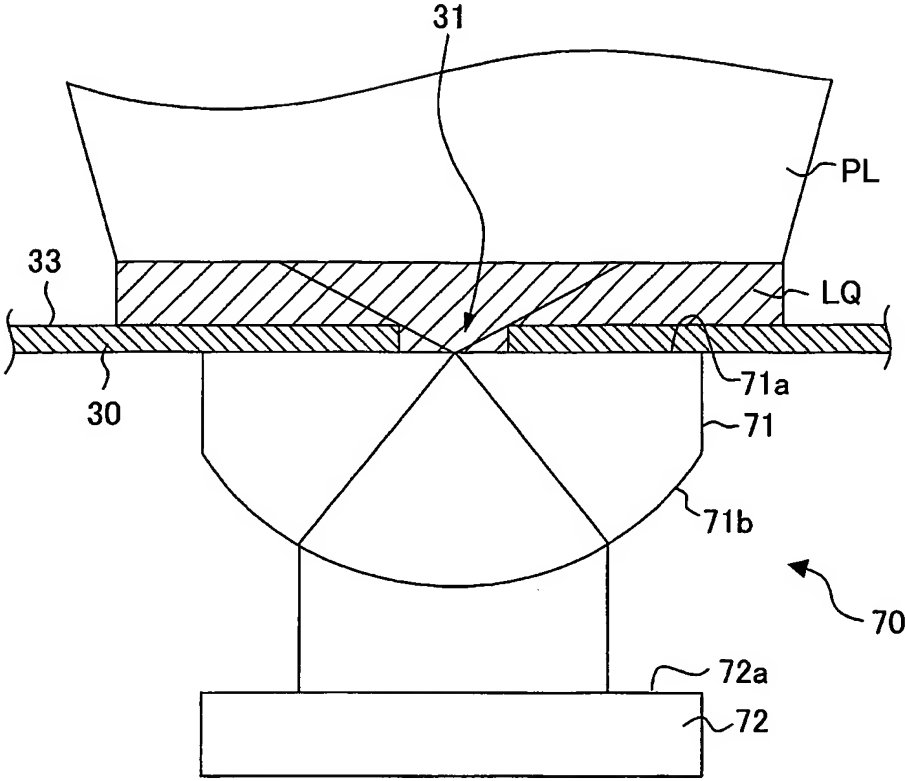
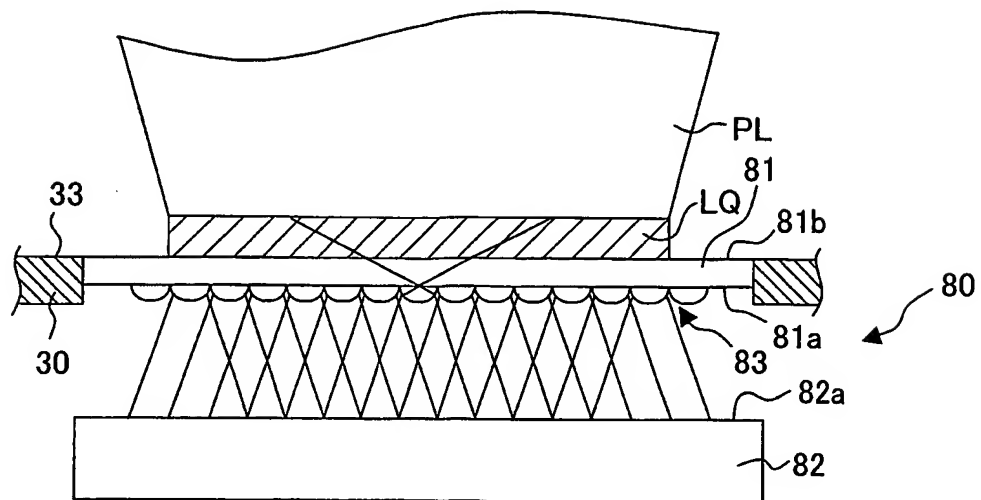


Fig. 11

(a)



(b)

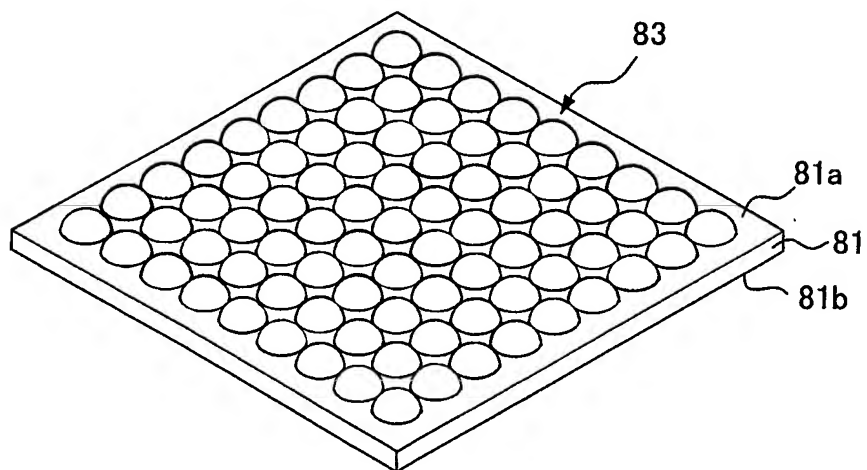


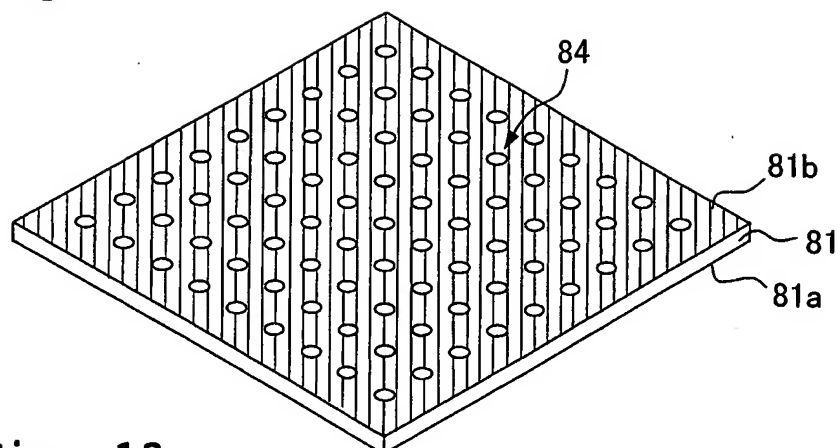
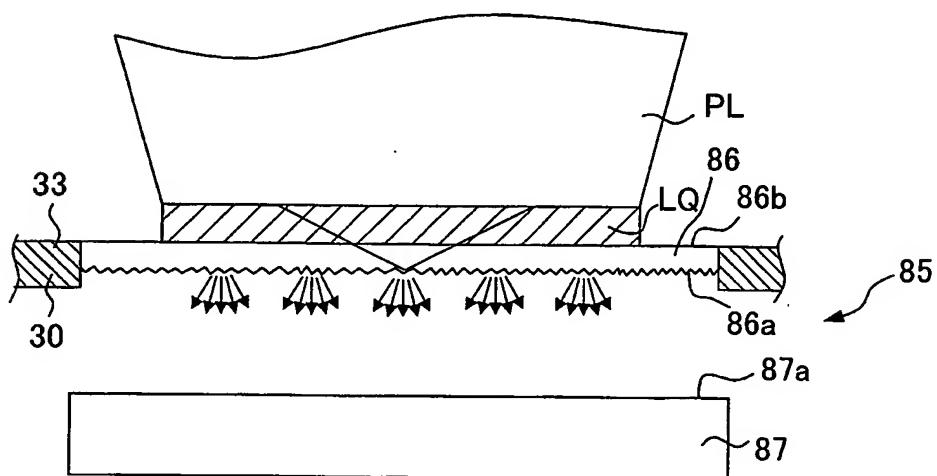
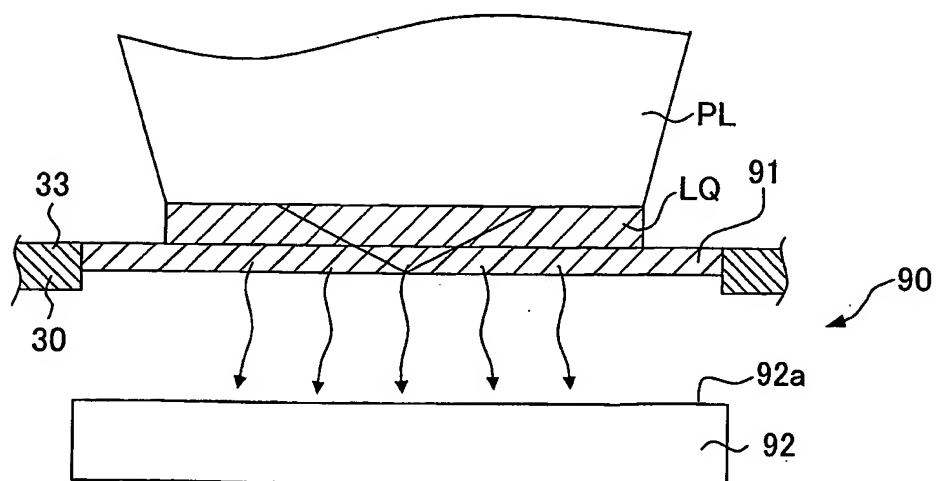
Fig. 12**Fig. 13****Fig. 14**

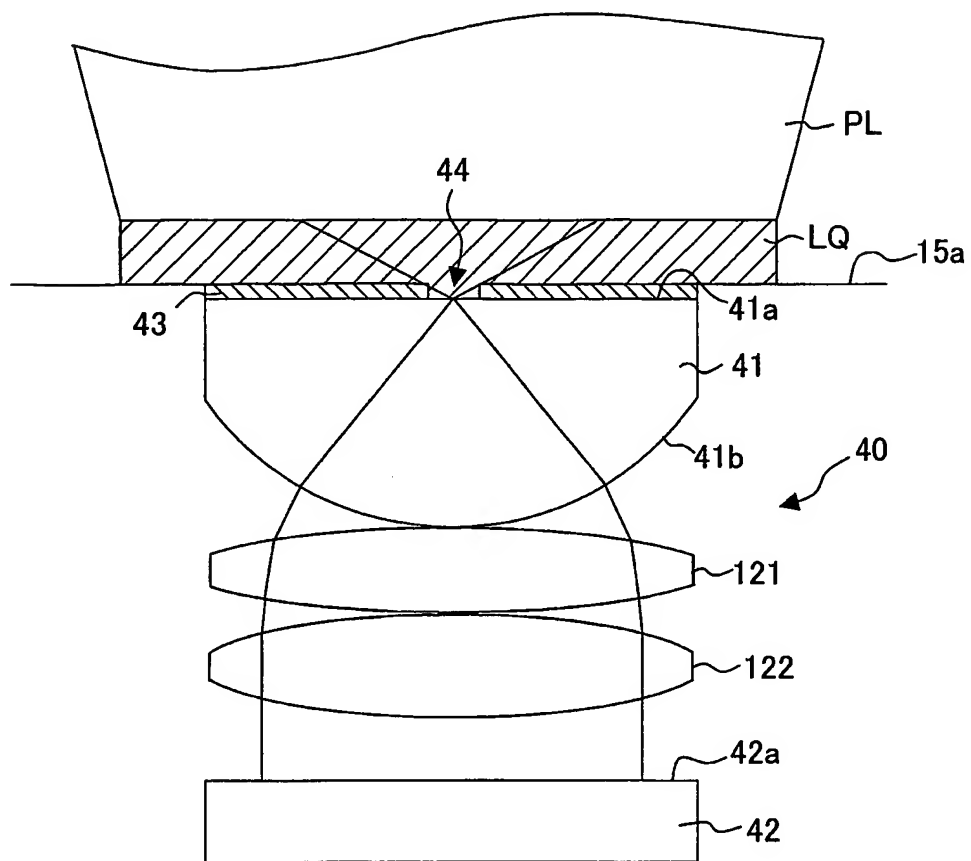
Fig. 17

Fig. 18

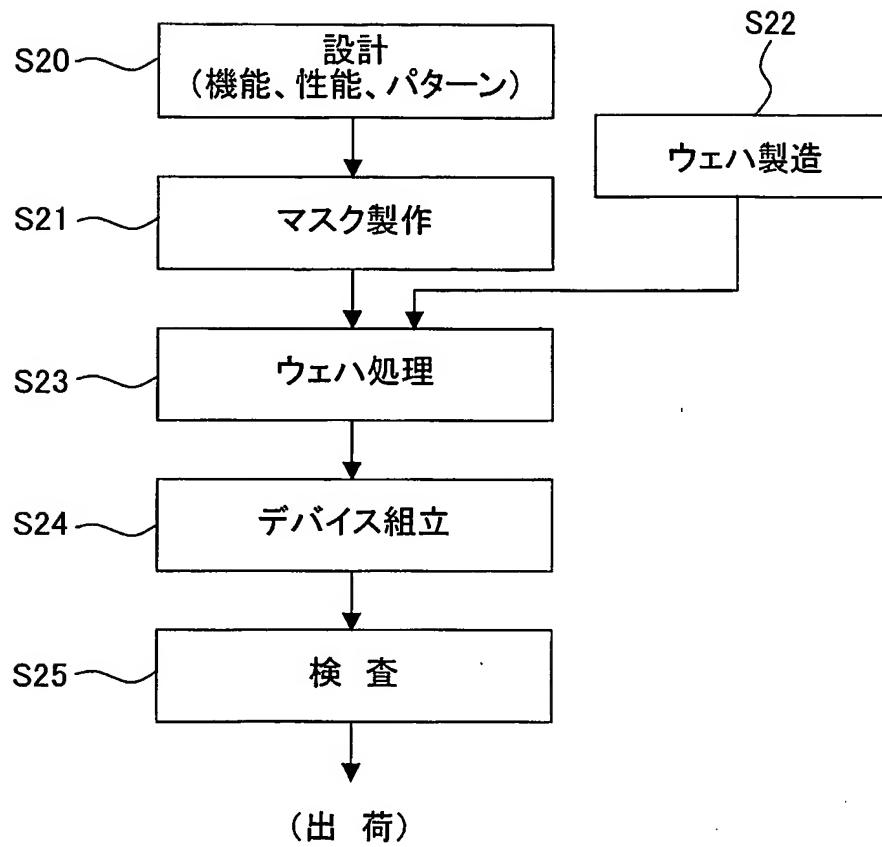


Fig. 19

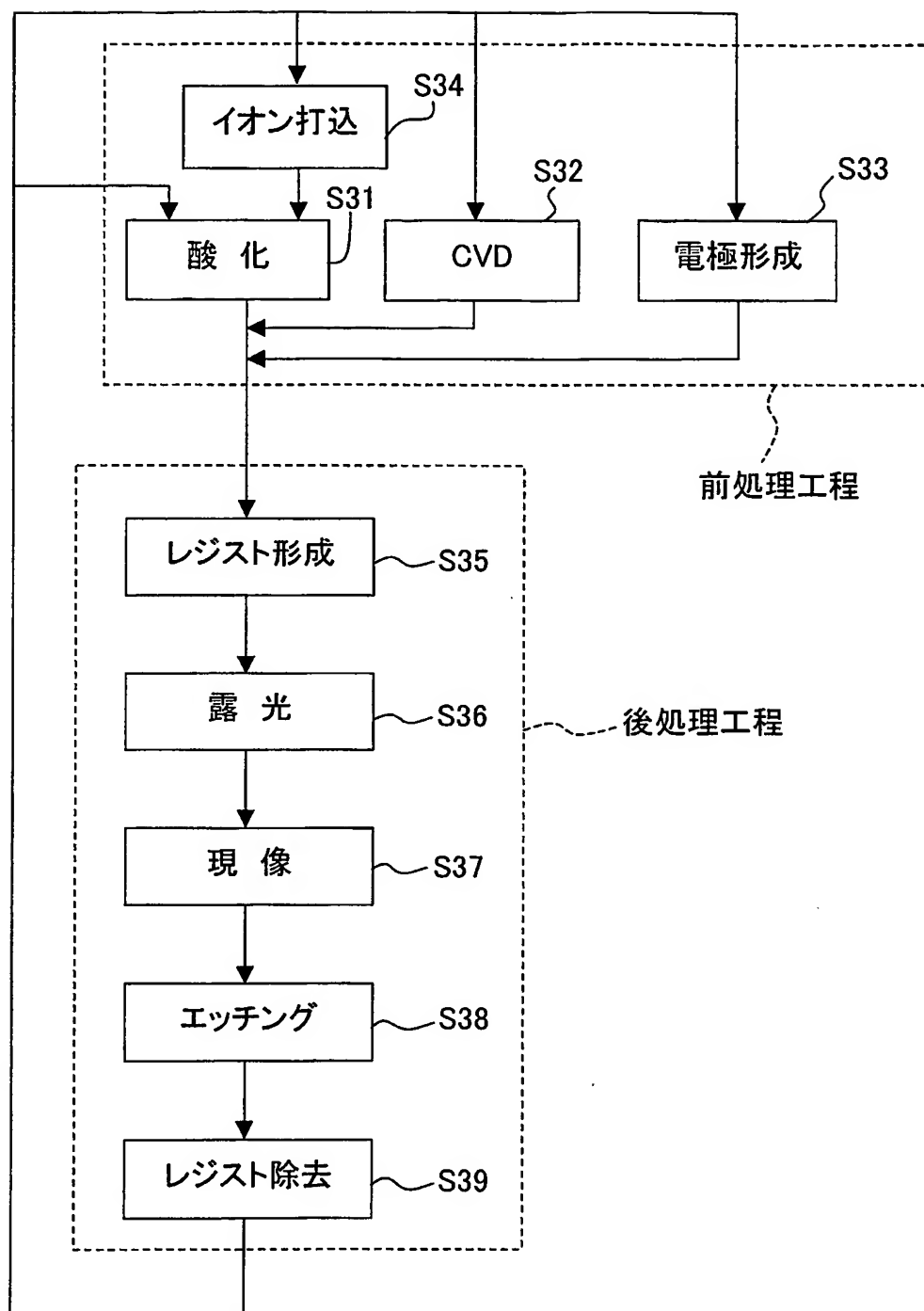


Fig. 20

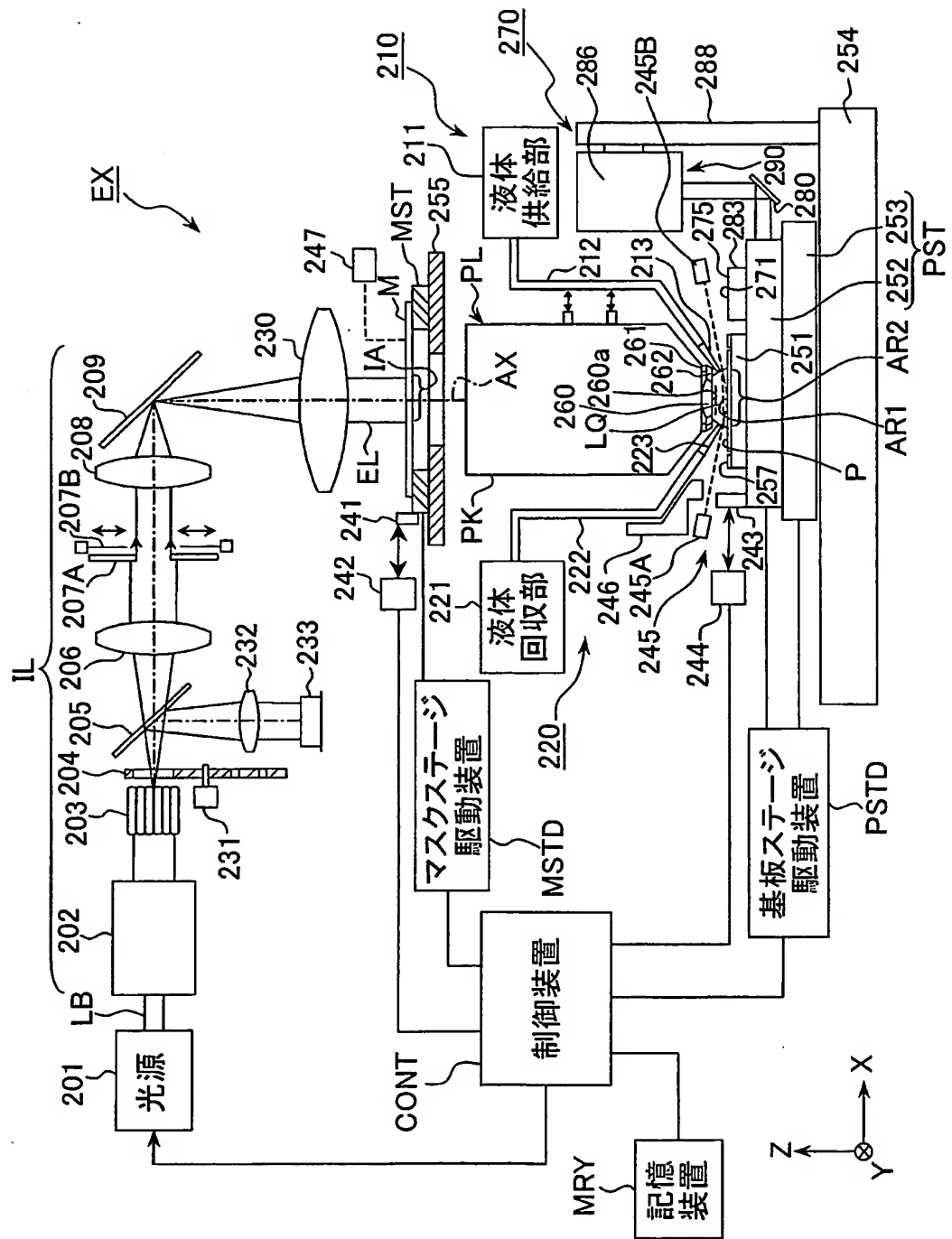


Fig. 22

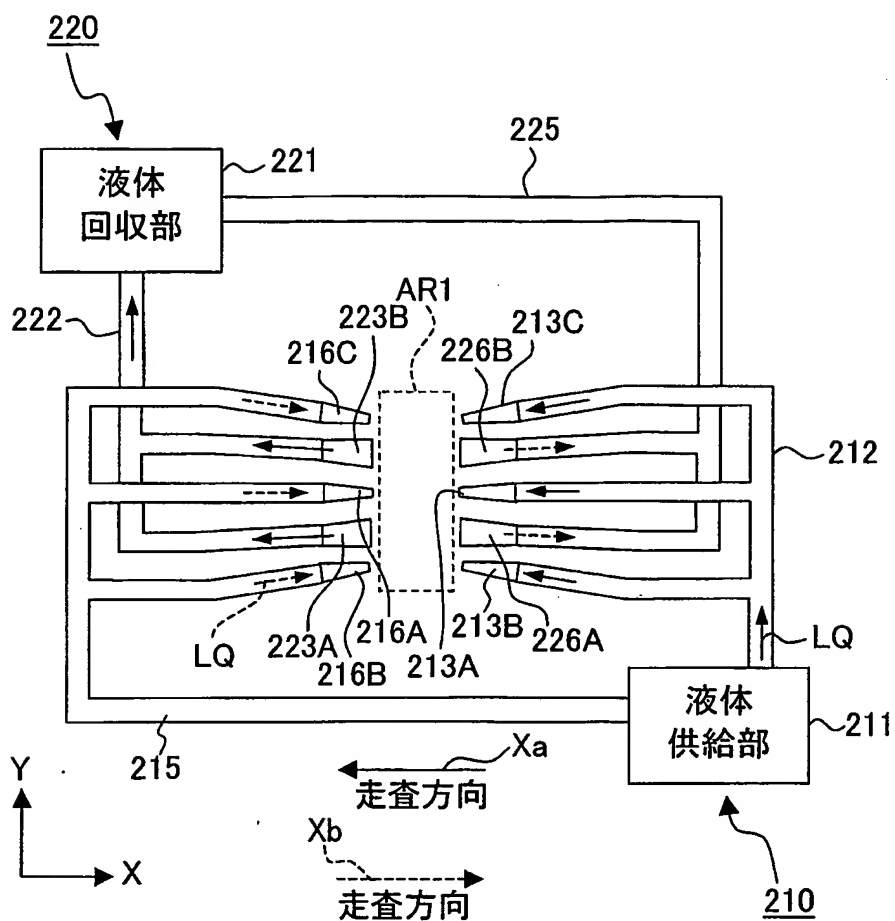


Fig. 24

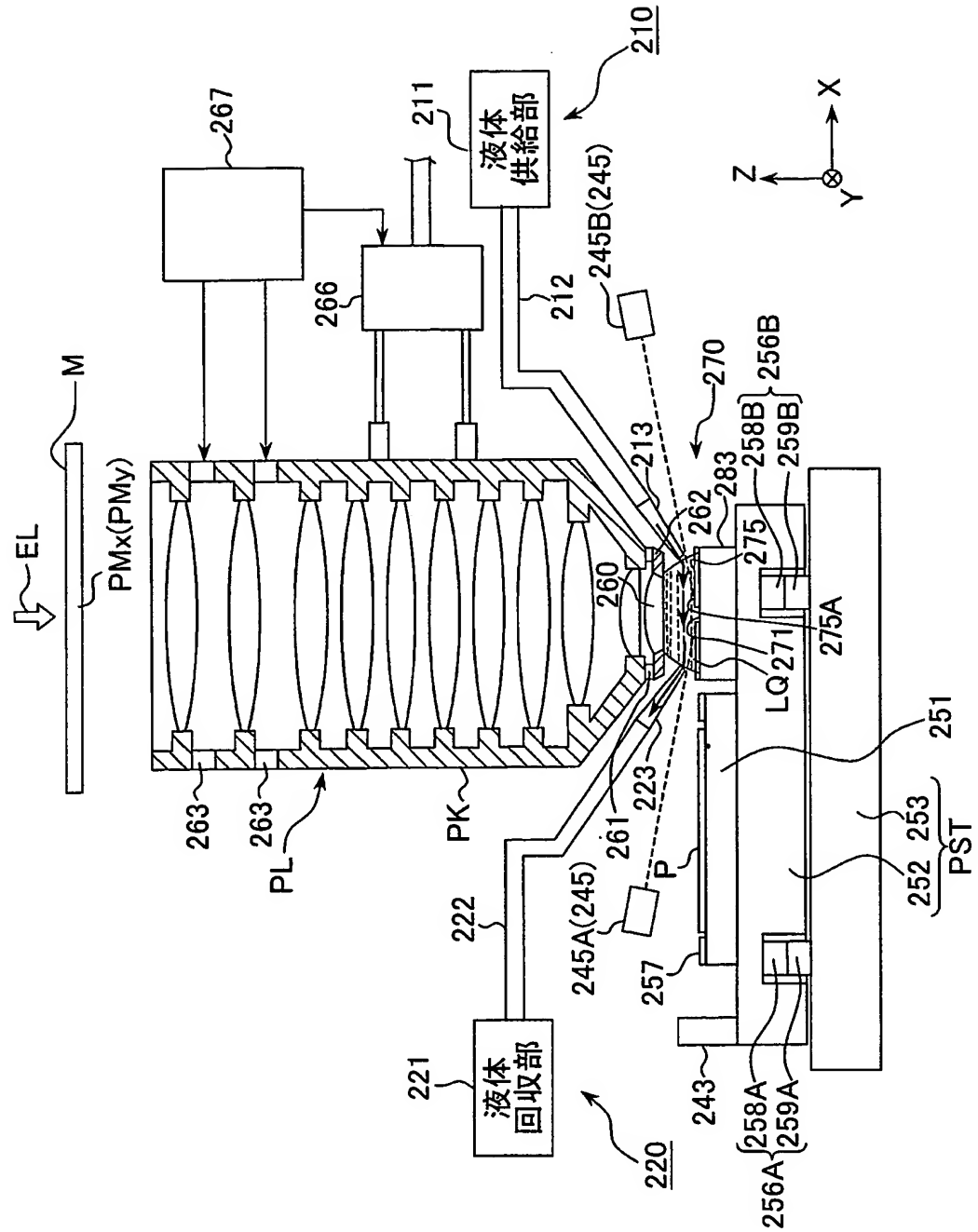


Fig. 25

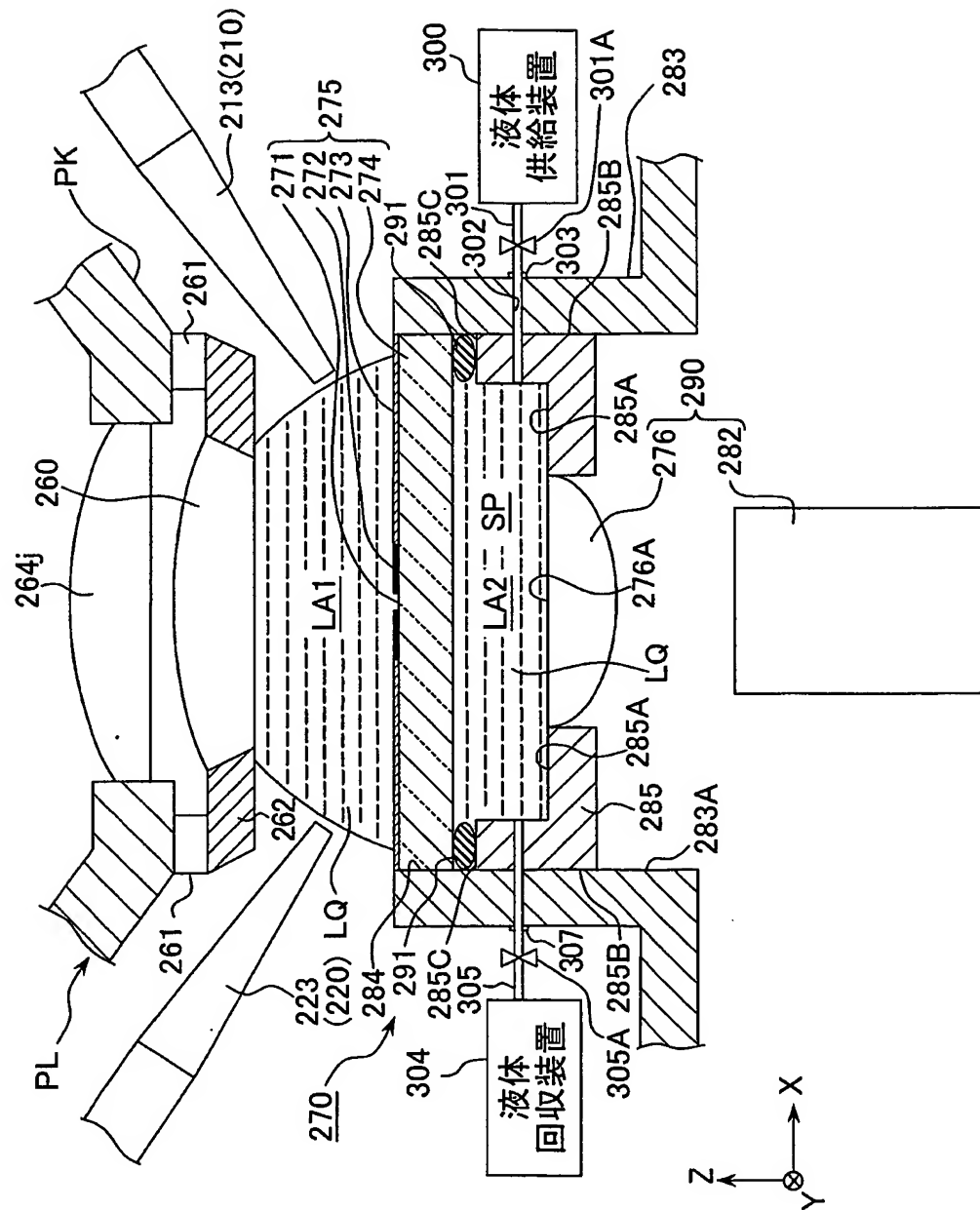


Fig. 26

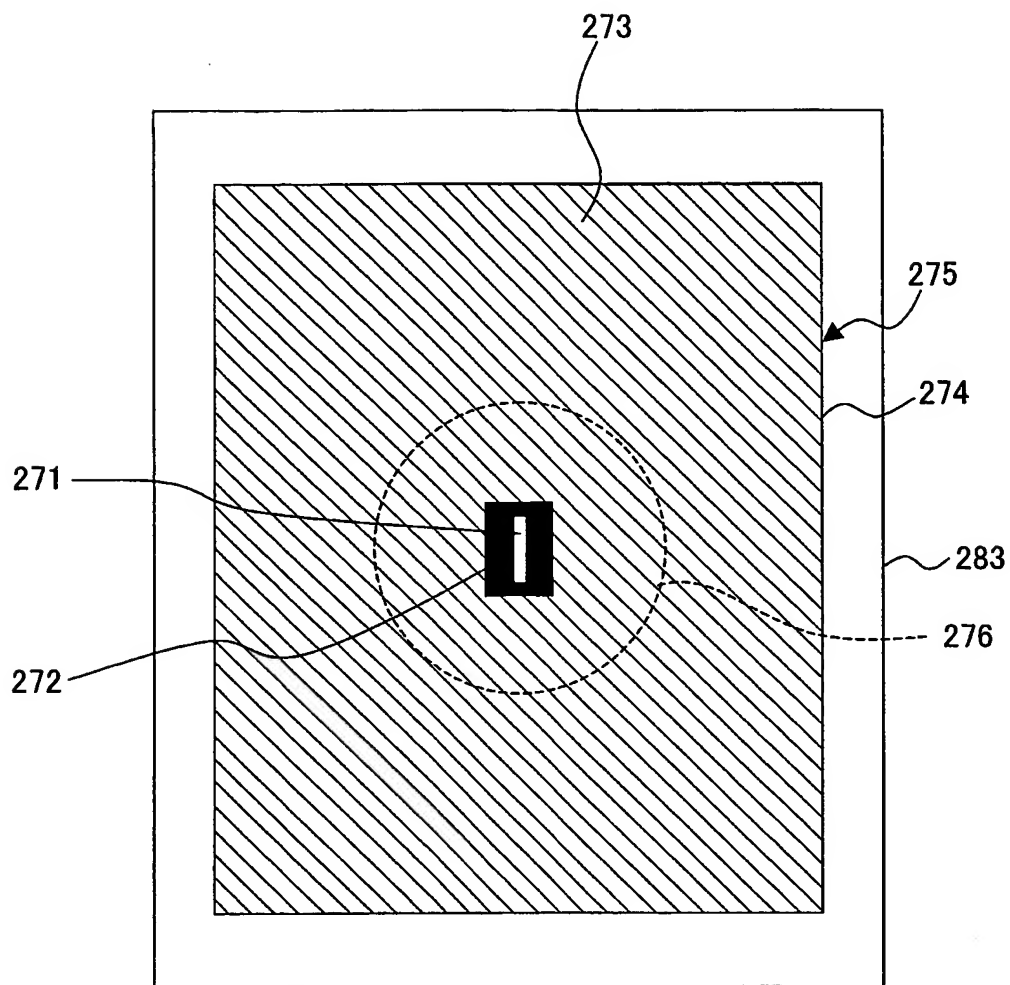
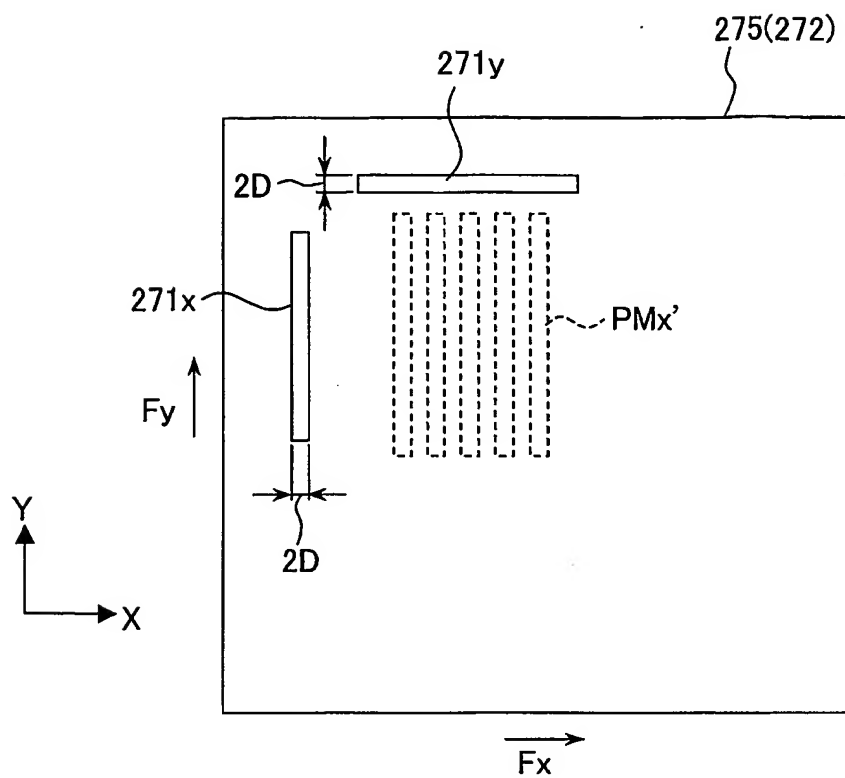


Fig. 27

(a)



(b)

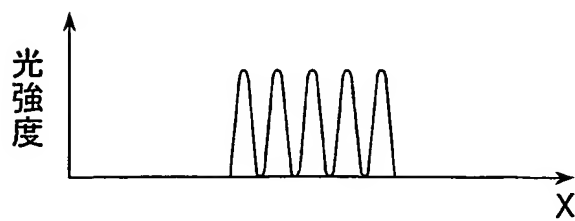


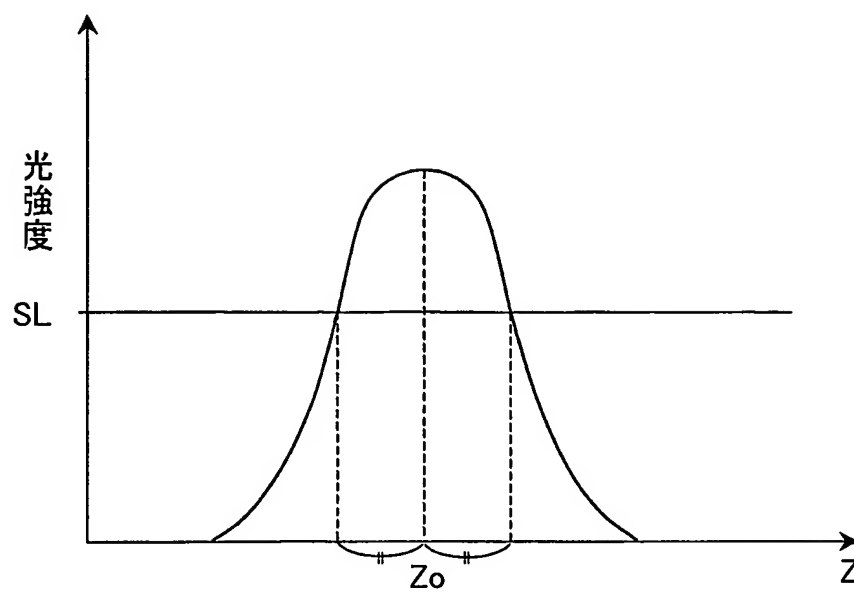
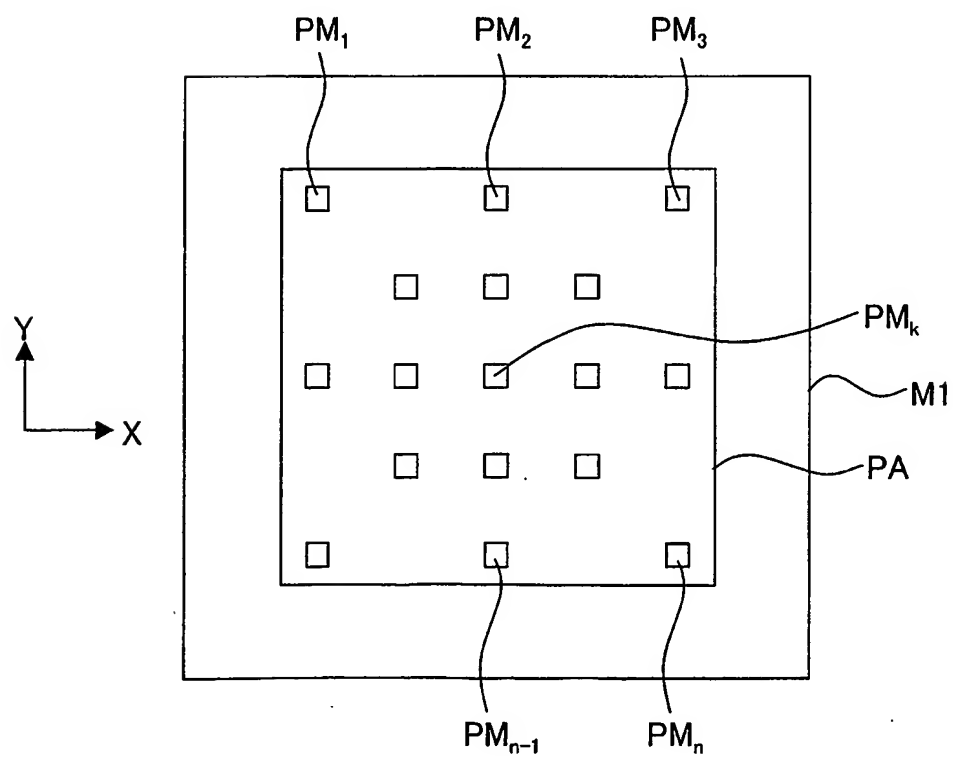
Fig. 28**Fig. 29**

Fig. 30

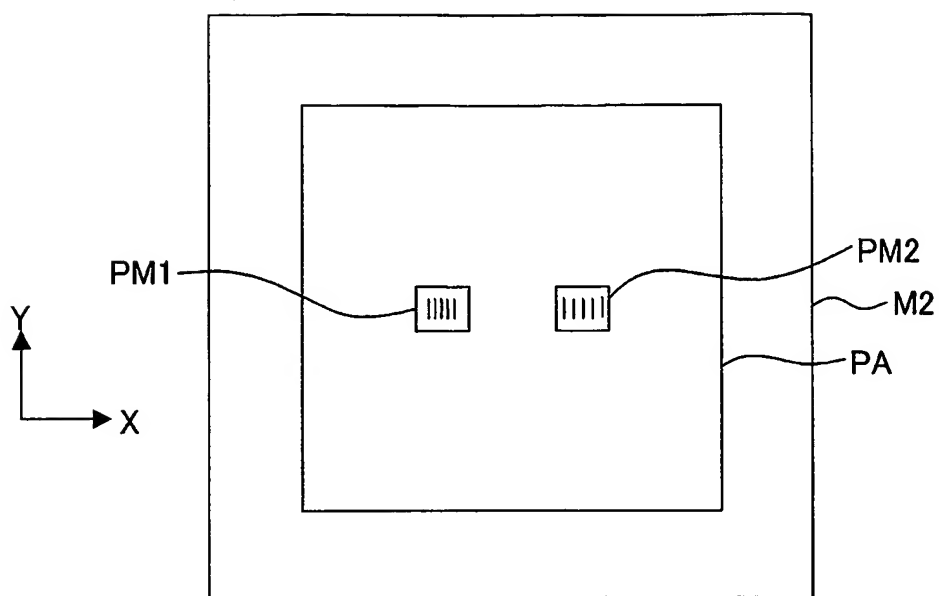


Fig. 31

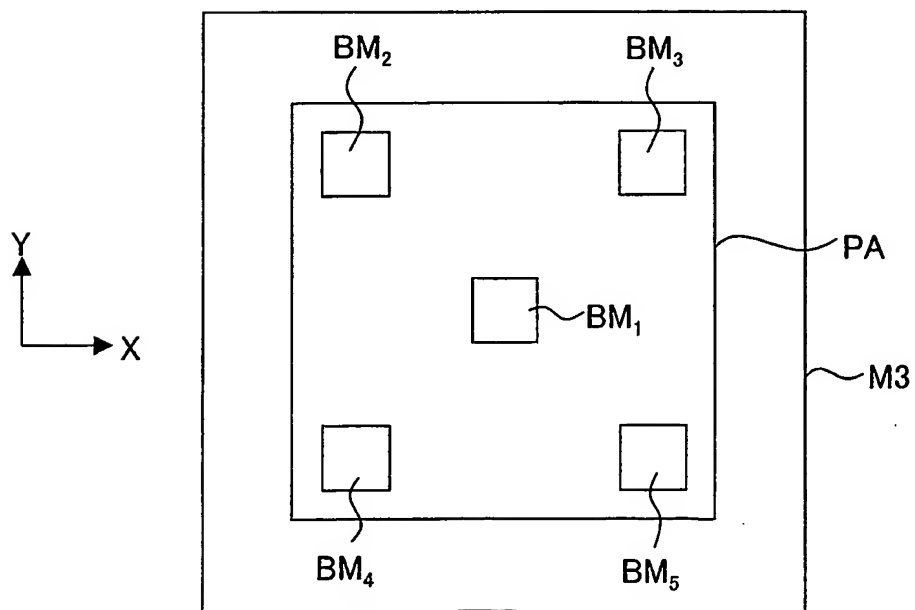


Fig. 32

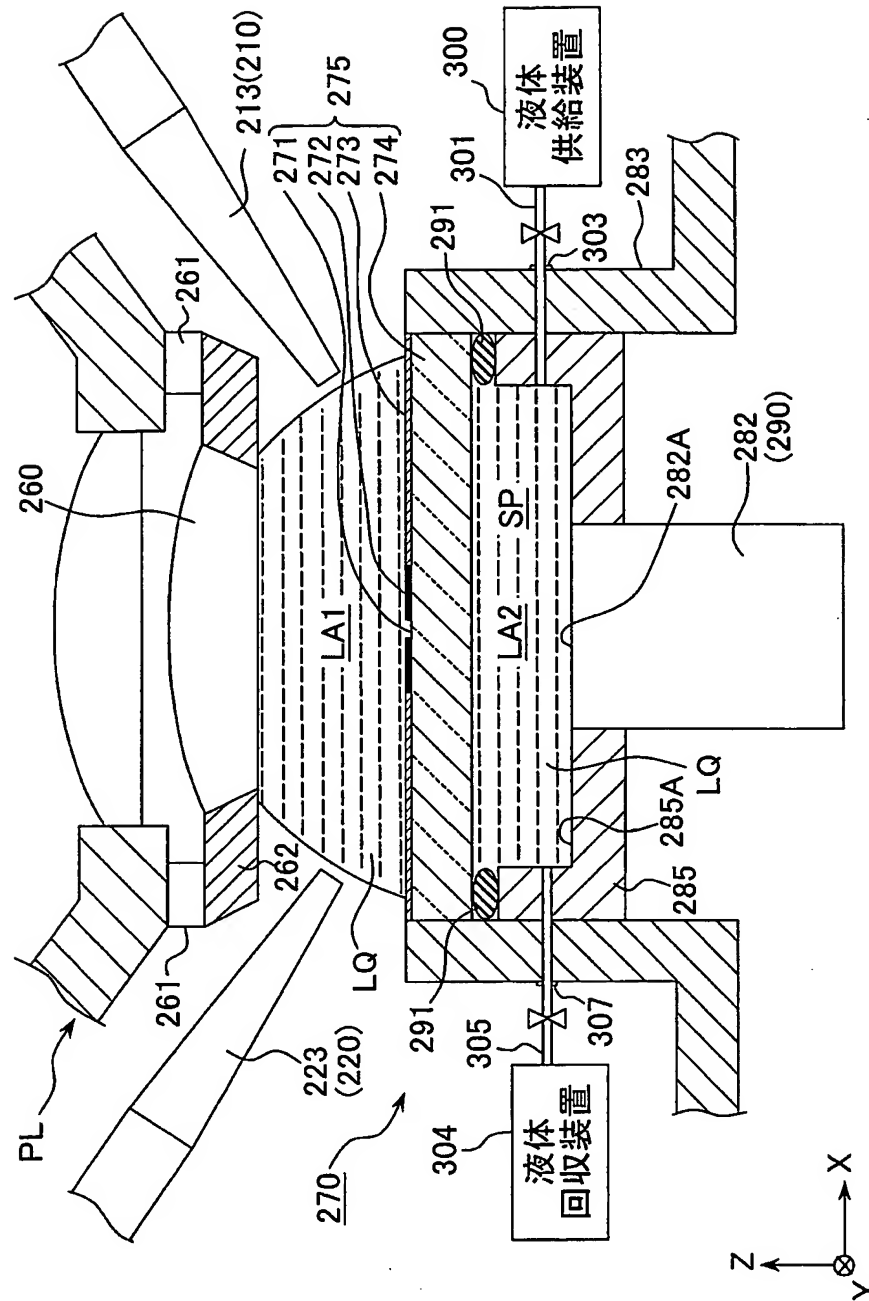


Fig. 33

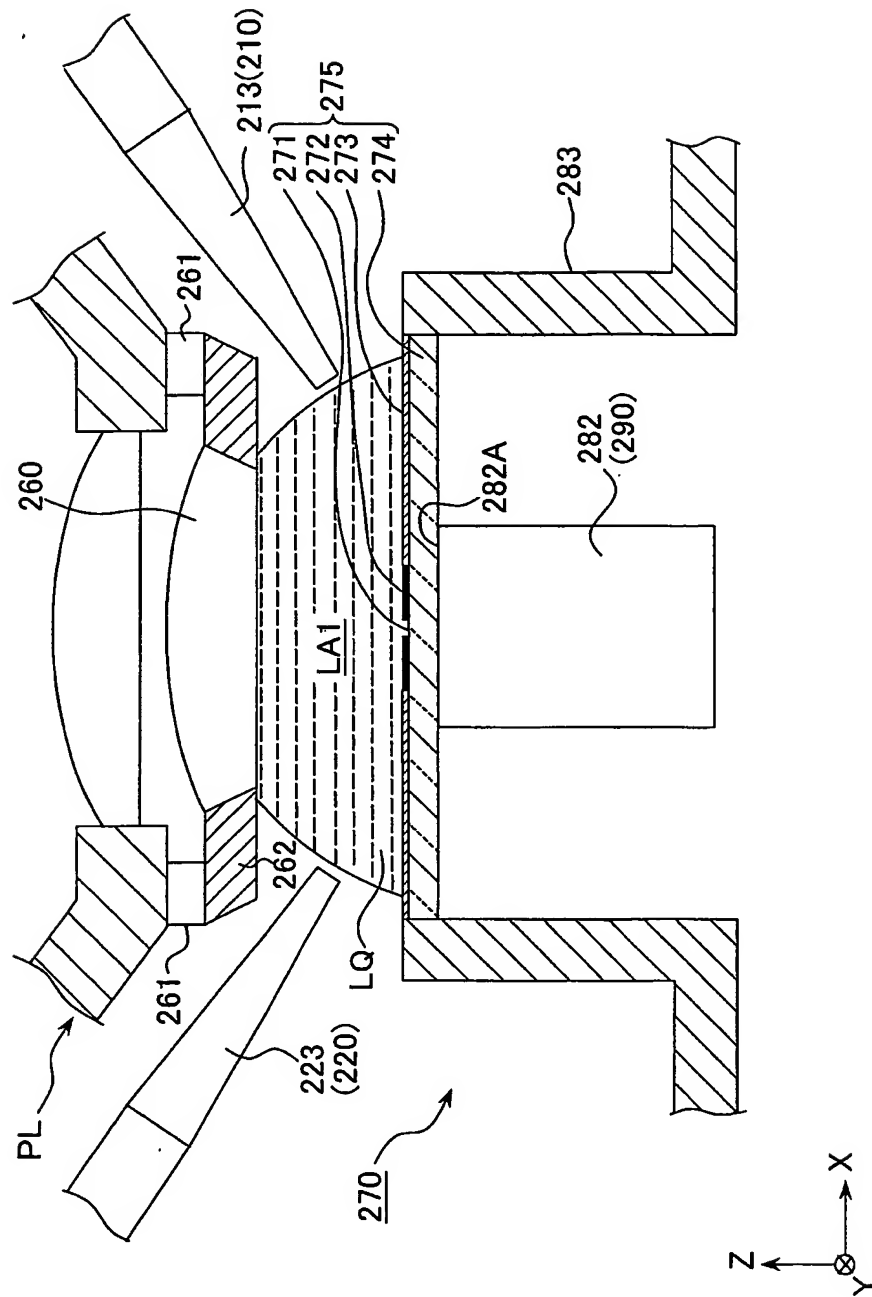


Fig. 34

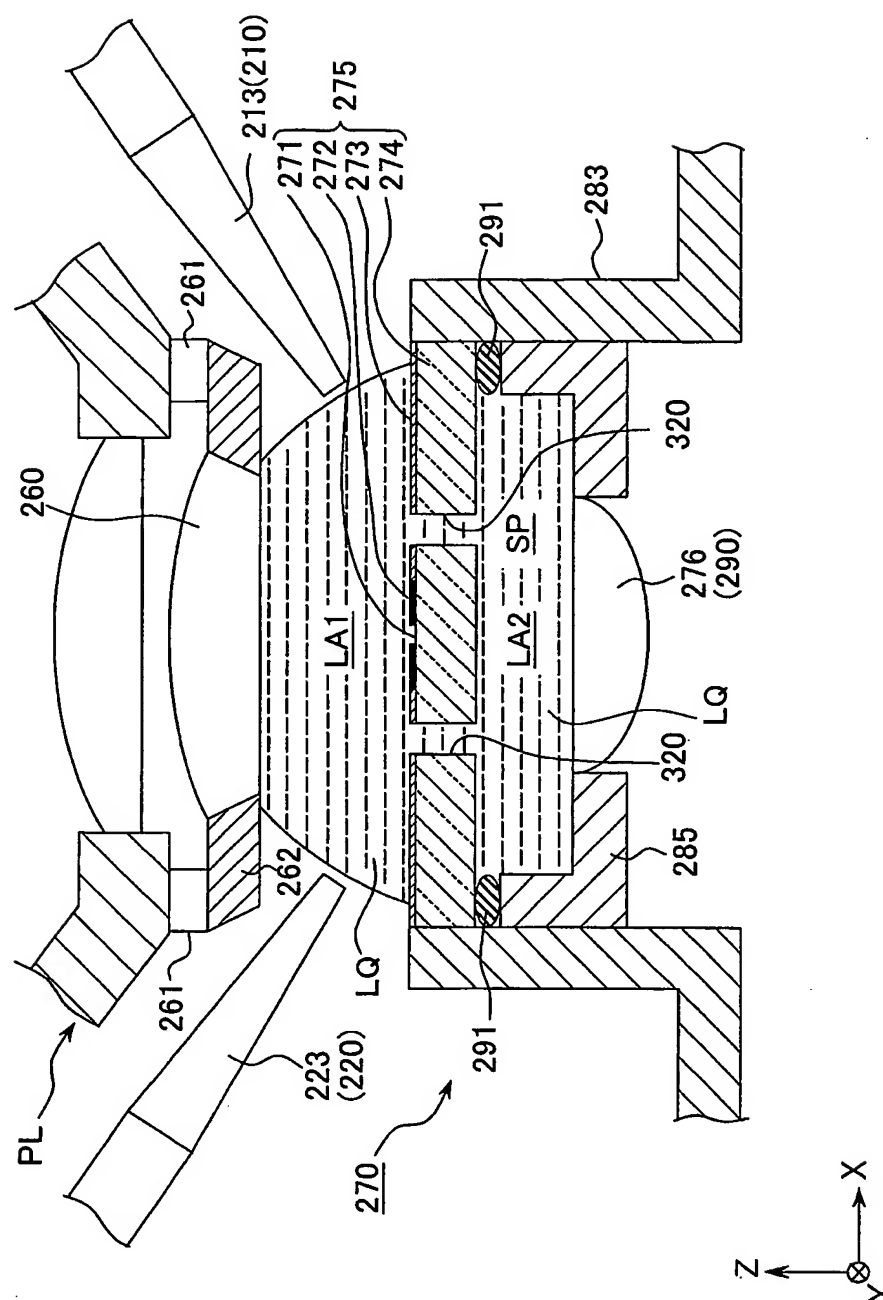


Fig. 35

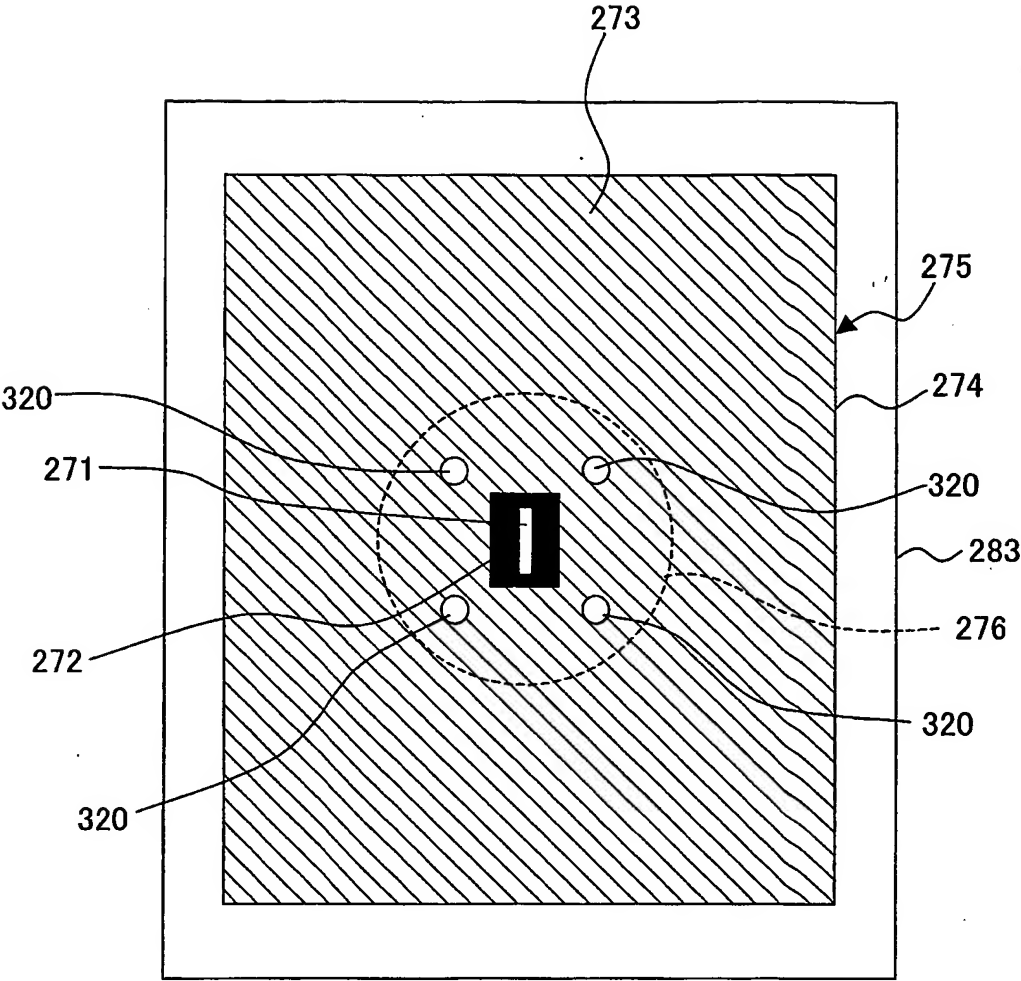


Fig. 36

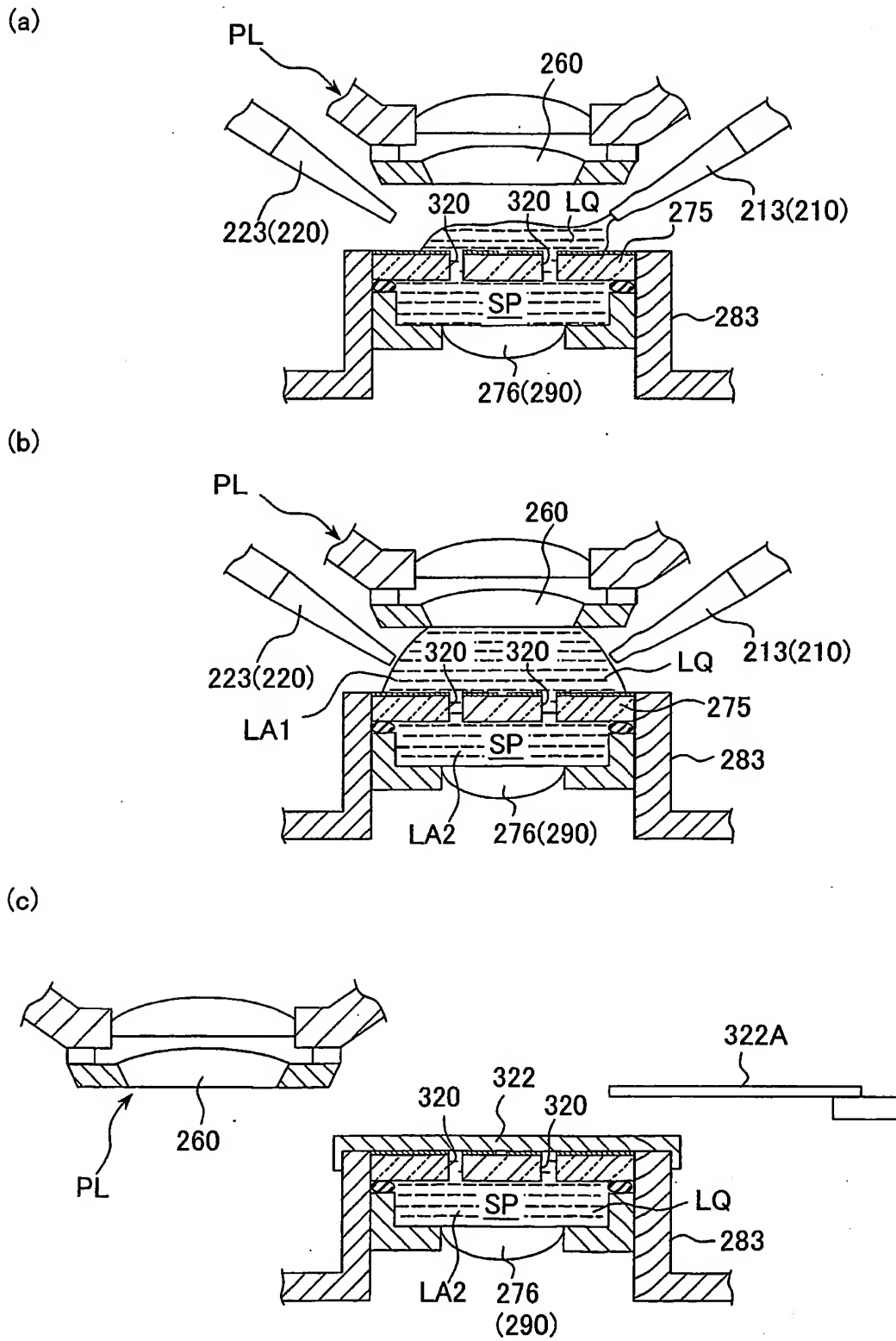


Fig. 37

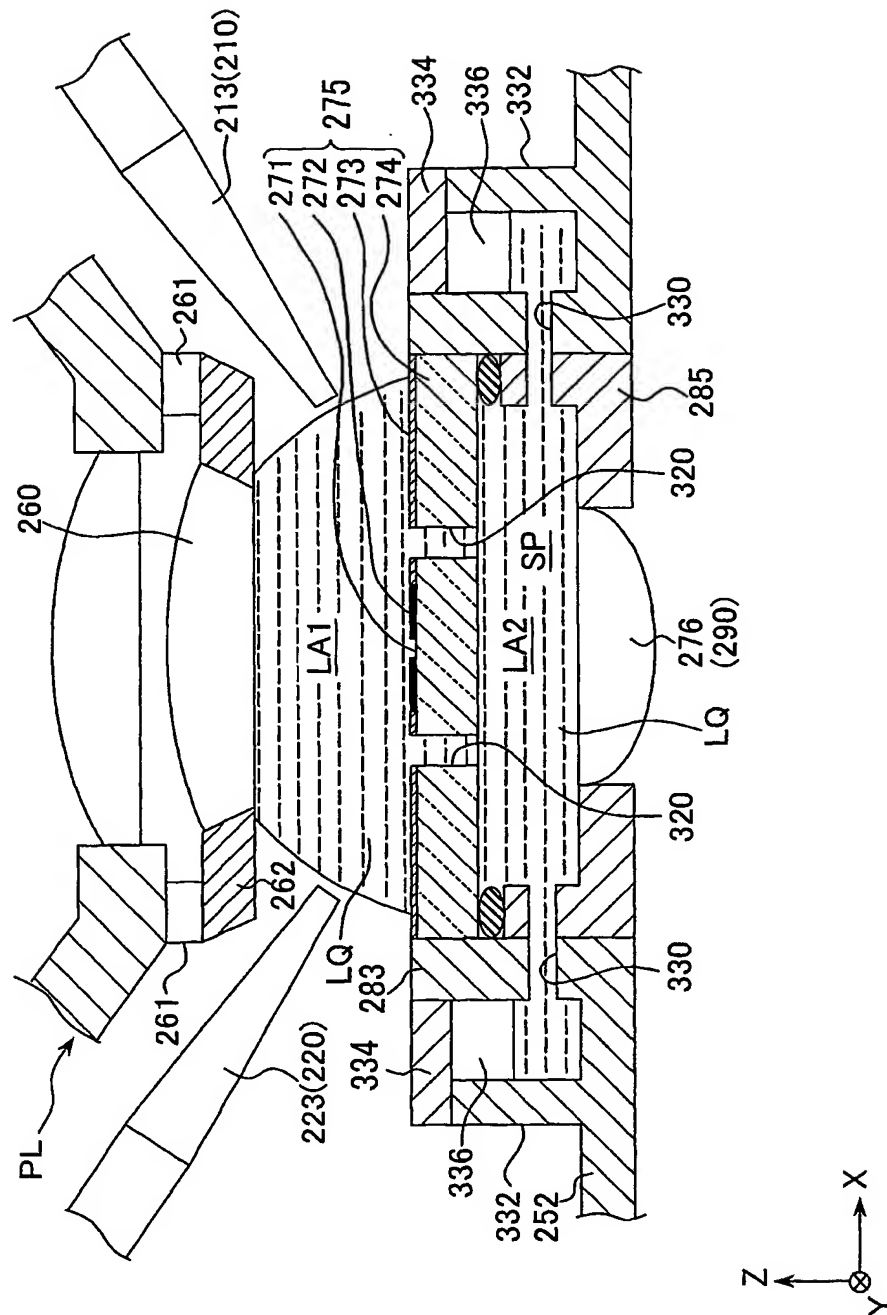


Fig. 38

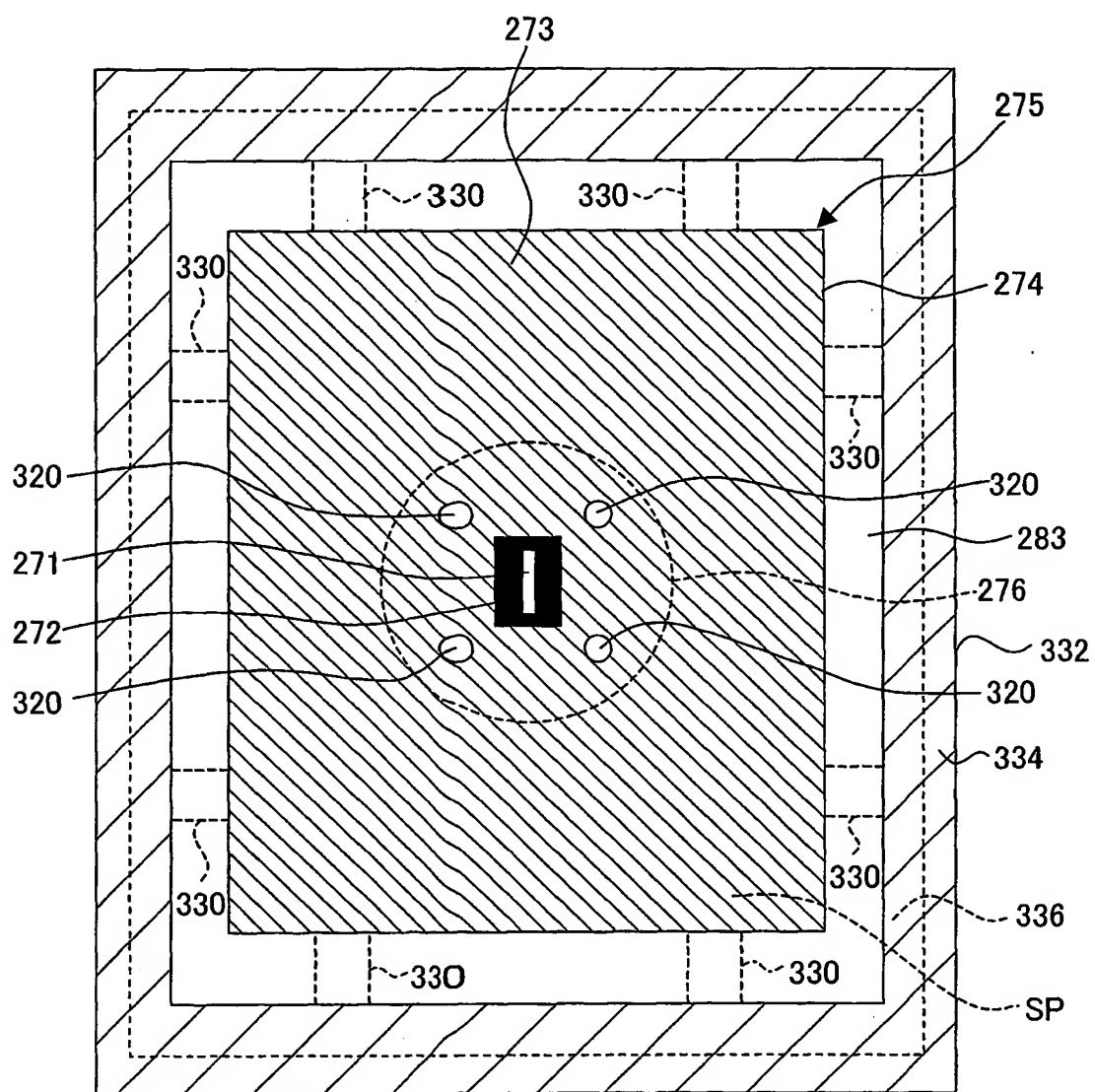


Fig. 39

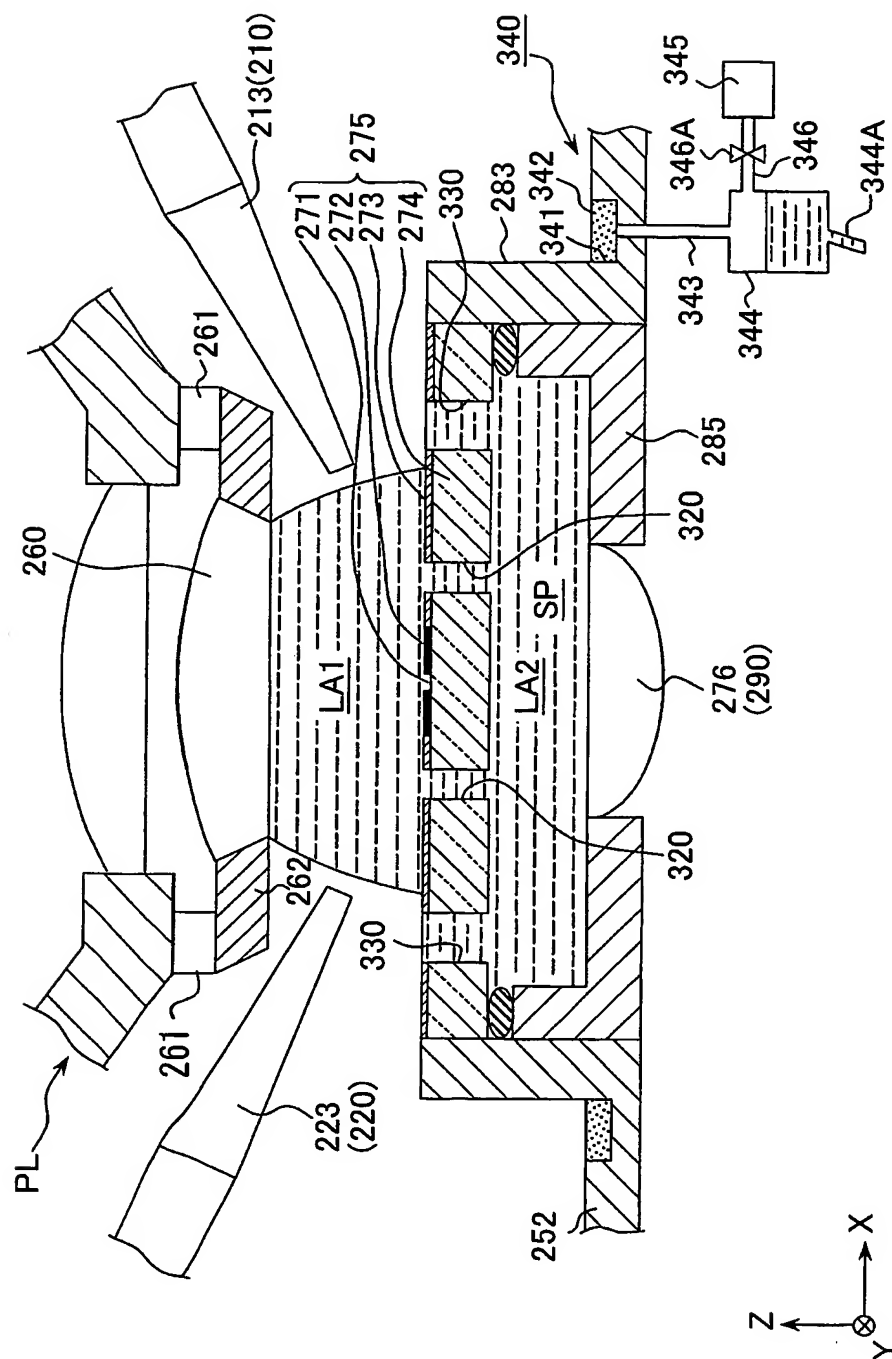


Fig. 40

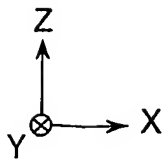
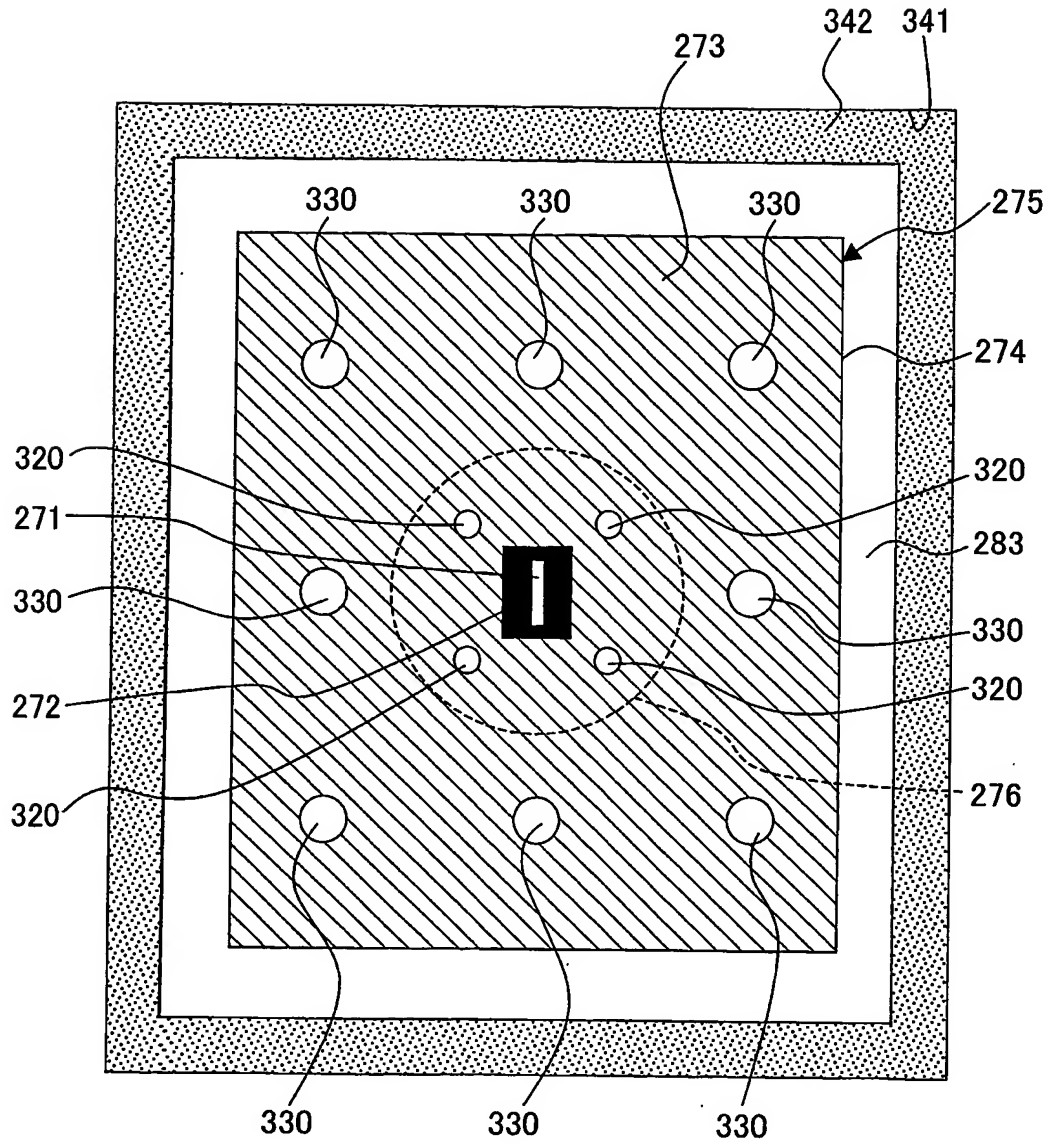


Fig. 41

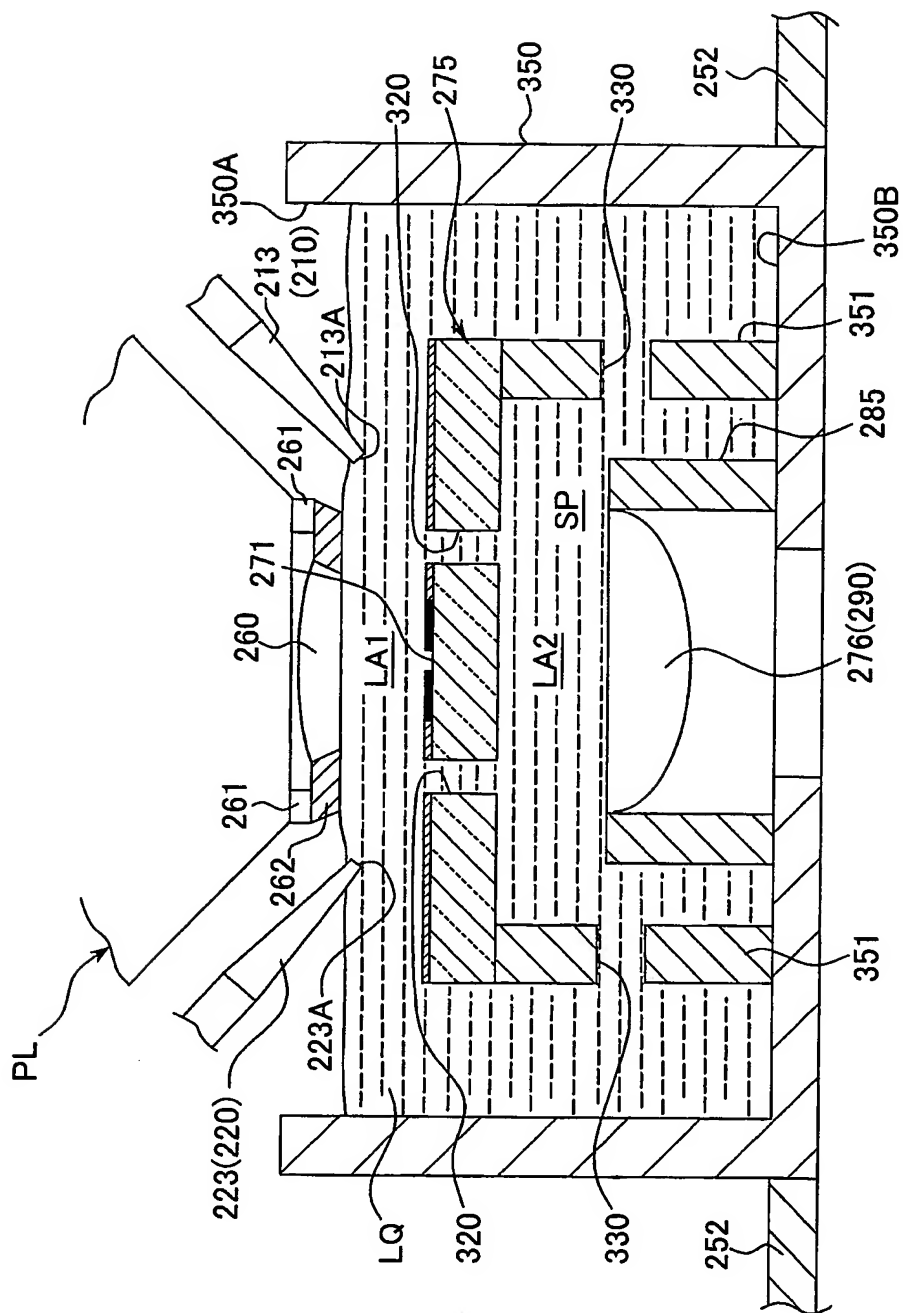


Fig. 42

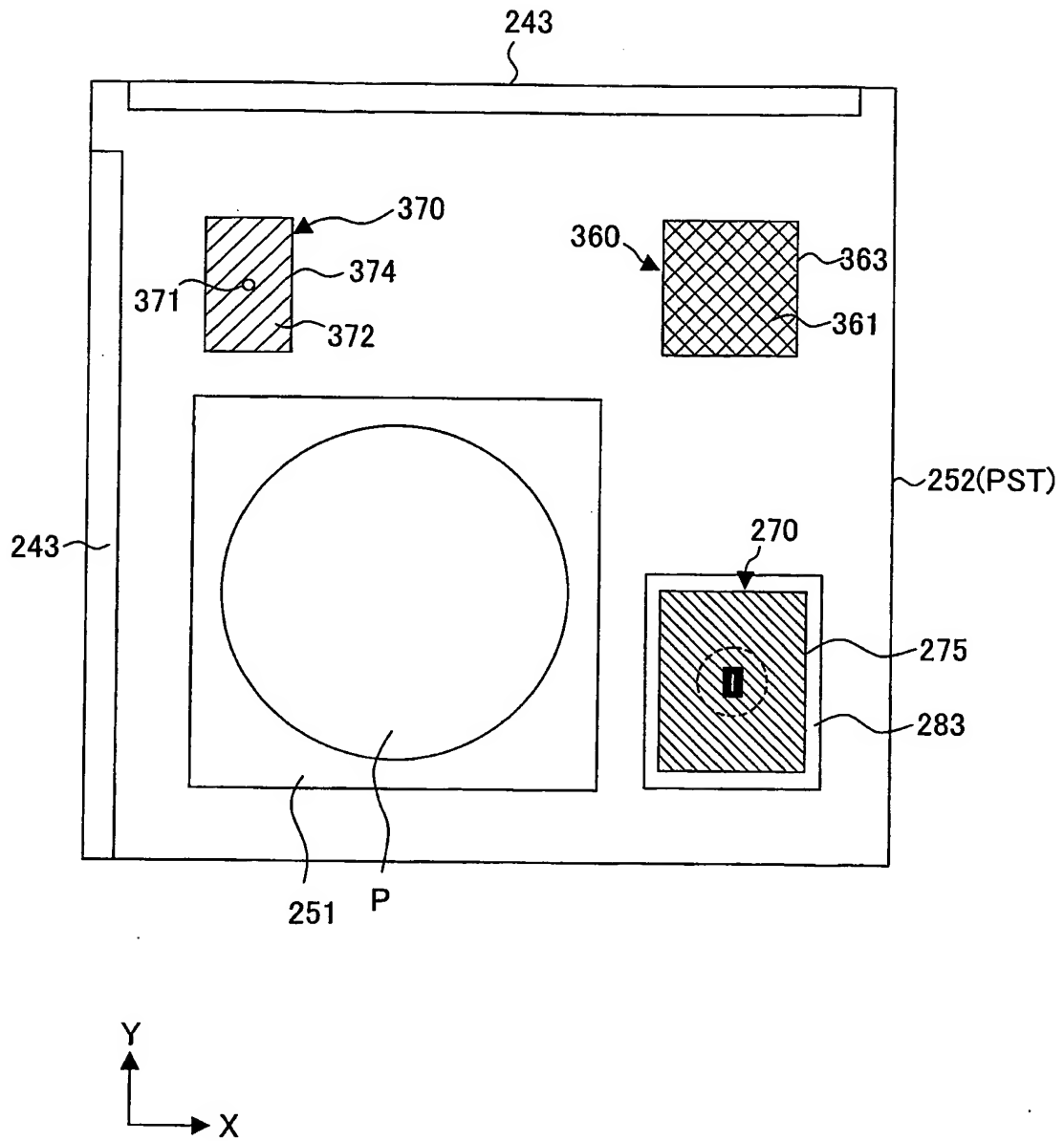


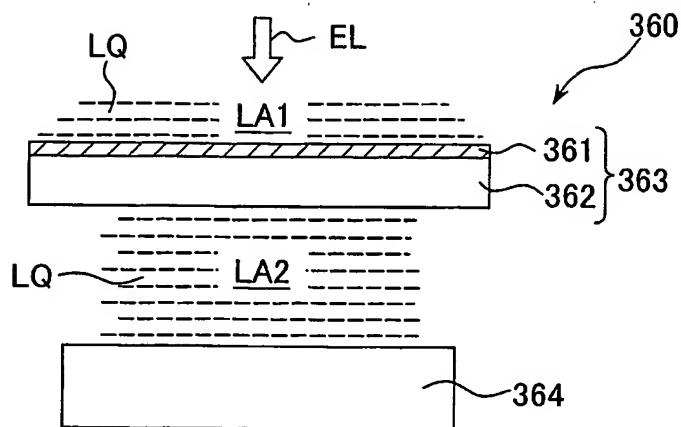
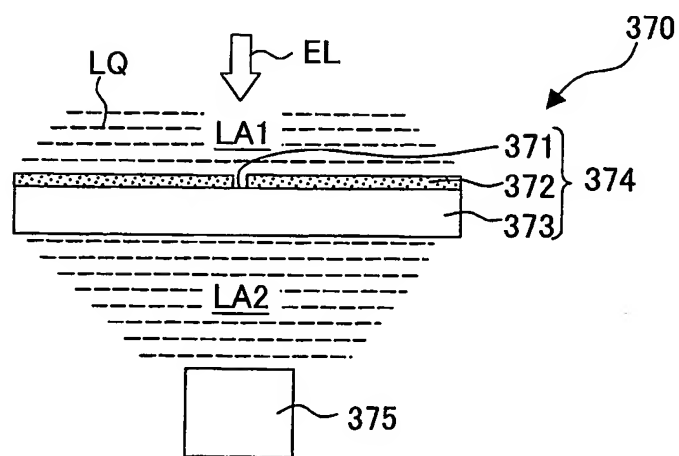
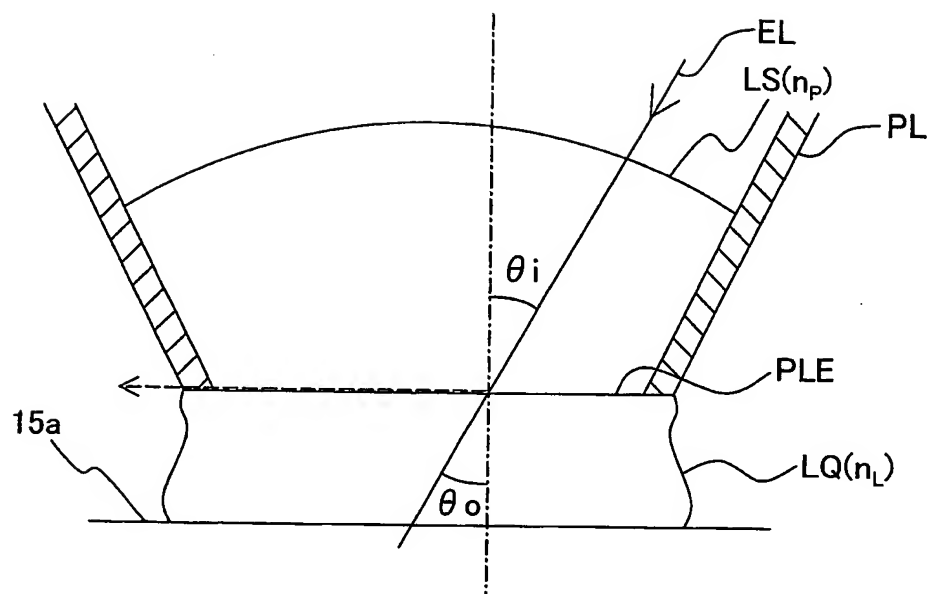
Fig. 43**Fig. 44**

Fig. 45



(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 4 月 7 日 (07.04.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/031799 A3

(51) 国際特許分類⁷: H01L 21/027, G03F 7/20

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/014693

(22) 国際出願日: 2004 年 9 月 29 日 (29.09.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2003-338420 2003 年 9 月 29 日 (29.09.2003) JP
特願2003-344938 2003 年 10 月 2 日 (02.10.2003) JP
特願2004-042931 2004 年 2 月 19 日 (19.02.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

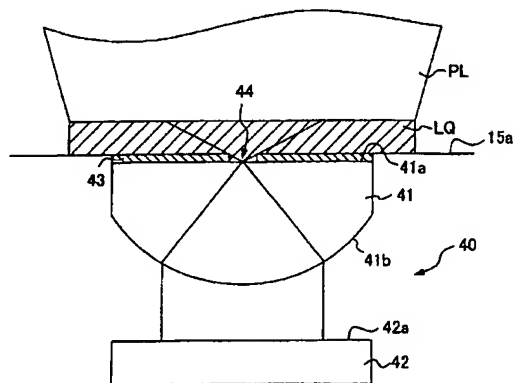
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 西永 壽 (NISHI-
NAGA, Hisashi) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸
の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
引間 郁雄 (HIKIMA, Ikuo) [JP/JP]; 〒1008331 東京都
千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内
Tokyo (JP). 豊田 光紀 (TOYODA, Mitsunori) [JP/JP]; 〒
1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株
式会社ニコン内 Tokyo (JP). 中川 正弘 (NAKAGAWA,
Masahiro) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内
三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 萩原
恒幸 (HAGIWARA, Tsuneyuki) [JP/JP]; 〒1008331 東
京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコ
ン内 Tokyo (JP). 水野 恭志 (MIZUNO, Yasushi) [JP/JP];
〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株
式会社ニコン内 Tokyo (JP). 北 尚憲 (KITA, Naonori)
[JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番
3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 谷津 修 (TANITSU,
/続葉有/

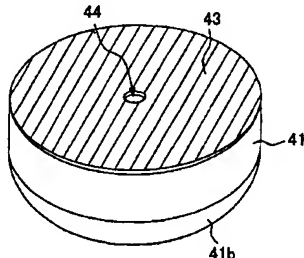
(54) Title: EXPOSURE APPARATUS, EXPOSURE METHOD, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 露光装置、露光方法及びデバイス製造方法

(a).



(b).



(57) Abstract: A part of exposure light entering a liquid (LQ) from a projection optical system (PL) enters a light-transmitting section(44), enters an optical member (41) without passing through gas, and is focused. The exposure apparatus receives the exposure light from the projection optical system to perform various measurements even if the numerical aperture of the projection optical system increases.

(57) 要約: 投影光学系 PL から液体 LQ に入射した露光光のうち、光透過部 44 に入射した露光光は、気体中を通過せずに光学部材 41 に入射して収束される。露光装置は、投影光学系の開口数が増大しても投影光学系からの露光光を受光して、各種の計測を行うことができる。



Osamu) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 江村 望 (EMURA, Nozomu) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 川北 喜十郎 (KAWAKITA, Kijuro); 〒1600022 東京都新宿区新宿一丁目5番4号 YKBマイクガーデン Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

(88) 国際調査報告書の公開日: 2005 年 6 月 23 日

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014693

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ H01L21/027, G03F7/20		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ H01L21/027, G03F7/20		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E, X	JP 2005-93948 A (Nikon Corp.), 07 April, 2005 (07.04.05), Claims; Par. No. [0071]; Figs. 1, 3 (Family: none)	1, 72
E, A	JP 2004-301825 A (Nikon Corp.), 28 October, 2004 (28.10.04), Full text; all drawings & WO 2004/053957 A1 & AU 2003289272 A1	1-81
A	JP 11-176727 A (Nikon Corp.), 02 July, 1999 (02.07.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-81
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 08 April, 2005 (08.04.05)		Date of mailing of the international search report 26 April, 2005 (16.04.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014693

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 6-124873 A (Canon Inc.), 06 May, 1994 (06.05.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-81
A	WO 1999/049504 A1 (Nikon Corp.), 30 September, 1999 (30.09.99), Full text; all drawings & JP 2000-538378 A & AU 9927479 A	1-81

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
E, X	JP 2005-93948 A (株式会社ニコン) 2005.04.07, 特許請求の範囲、段落0071、図1、3 (ファミリーなし)	1, 72
E, A	JP 2004-301825 A (株式会社ニコン) 2004.10.28, 全文全図 & WO 2004/053957 A1 & AU 2003289272 A1	1-81
A	JP 11-176727 A (株式会社ニコン) 1999.07.02, 全文全図 (ファミリーなし)	1-81

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.04.2005

国際調査報告の発送日

26.04.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

新井 重雄

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

2M

8605

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 . 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 6-124873 A (キヤノン株式会社) 1994.05.06, 全文全図 (ファミリーなし)	1-81
A	WO 1999/049504 A1 (株式会社ニコン) 1999.09. 30, 全文全図 & JP 2000-538378 A & A U 9927479 A	1-81